

As Terras Pretas de Índio da Amazônia:

Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas



As Terras Pretas de Índio da Amazônia:

**Sua Caracterização e Uso Deste
Conhecimento na Criação de Novas Áreas**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Ocidental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

As Terras Pretas de Índio da Amazônia:

Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas

*Wenceslau Geraldes Teixeira
Dirse Clara Kern
Beáta Emöke Madari
Hedinaldo Narciso Lima
William Woods
Editores-Técnicos*

*Embrapa Amazônia Ocidental
Manaus, AM
2009*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Ocidental

Rodovia AM-010, km 29, Estrada Manaus/Itacoatiara

Caixa Postal 319, 69010-970, Manaus - AM

Fone: (92) 3303-7800

Fax: (92) 3303-7820

www.cpa.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Celso Paulo de Azevedo*

Secretária: *Gleise Maria Teles de Oliveira*

Membros: *Carlos Eduardo Mesquita Magalhães*

Cheila de Lima Bojink

Cintia Rodrigues de Souza

José Ricardo Pupo Gonçalves

Luis Antonio Kioshi Inoue

Marcos Vinícius Bastos Garcia

Maria Augusta Abtibol Brito

Paula Cristina da Silva Ângelo

Paulo César Teixeira

Regina Caetano Quisen

Revisor de texto: *José Alberto Carvalho da Silva e Sígla Regina dos Santos Souza*

Normalização bibliográfica: *Maria Augusta Abtibol Brito*

Diagramação e arte: *Gleise Maria Teles de Oliveira*

Editoração eletrônica: *Doralice Campos Castro*

Fotos da capa: *Wenceslau Gerales Teixeira*

1ª edição

1ª gravação em CD-Rom (2009): 200

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Cip-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Amazônia Ocidental.**

As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas / Wenceslau Gerales Teixeira; Dirse Clara Kern; Beáta Emöke Madari; Hedinaldo Narciso Lima; William Woods. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 420 p.

1 CD-ROM ; 4 3/4 pol.

ISBN 978-85-89111-06-5

1. Solo. 2. Terra Preta de Índio. I. Teixeira, Wenceslau Gerales. II. Kern, Dirse Clara. III. Madari, Beata Emöke. IV. Lima, Hedinaldo Narciso. V. Woods, William.

CDD 631.47811

Autores

Adônis Moreira

Engenheiro agrônomo, D. Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil, adonis@cnpse.embrapa.br

Afrânio Neves Júnior

Professor bolsista, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil, anevesjr@gmail.com

Alexandre Santos Pimenta

Pesquisador, D.Sc., da Bricarbrás, Brasil.

Antoinette M. G. A. WinklerPrins

Michigan State University, Department of Geography, 207 Geography Building, East Lansing, MI 48824-1117, Estados Unidos da América, antoinet@msu.edu

Beáta Emöke Madari

Engenheira agrônoma, Ph. D. em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil, madari@cnpaf.embrapa.br

Bruno Glaser

Professor, Universität Bayreuth, Bodenkunde, Bayreuth, Alemanha.

Carlos Ernesto G. R. Schaefer

Professor da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, carlos.schaefer@ufv.br

Charles R. Clement

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Pesquisas em Ciências Agronômicas, Manaus, AM, Brasil, cclement@inpa.gov.br

Christoph Steiner

Pesquisador da Universidade de Bayreuth, atualmente, The University of Georgia, Biorefining and Carbon Cycling Program, Driftmier Engineering Center, Athens, GA 30602, Estados Unidos da América, csteiner@engr.uga.edu

Débora Marcondes Bastos Pereira Milori

Física, D. Sc. em Doutorado em Física Básica, pesquisadora da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil, debora@cnpdia.embrapa.br

Dirse Clara Kern

Pesquisadora da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA, Brasil, kern@museu-goeldi.br

Edivan Costa Oliveira

Benevides Águas S/A, Brasil, brookita@bol.com.br

Eduardo Lleras Pérez

Botânico, Ph. D. em Botânica, pesquisador, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF, Brasil, lleras@cenargen.embrapa.br

Etelvino Henrique Novotny

Engenheiro agrônomo, D. Sc., em Química, pesquisador da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, etelvino@cnps.embrapa.br

Fabiola Andréa Silva

Professora do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo, SP, Brasil, faandrea@usp.br

Francisco Juvenal Lima Frazão

Pesquisador da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA, Brasil, fjfrazao@museu-goeldi.br

Gabriel de Araújo Santos

Professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Seropédica, RJ, Brasil, gasantos@ufrj.br

Garcia Perez

Biorefining and Carbon Cycling ProgramThe University of Georgia, Athens, GA, Estados Unidos da América, mgarcia@engr.uga.edu

Gilvan Coimbra Martins

Engenheiro agrônomo, M. Sc. em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Brasil, gilvan.martins@cpaa.embrapa.br

Hedinaldo Narciso Lima

Professor da Universidade Federal do Amazonas, Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, Manaus, AM, Brasil, hedinaldo@ufam.edu.br

Helena Doris de A. Barbosa Quaresma

NAEA, Universidade Federal do Pará, PA, Brasil.

Hermann Behling

Professor do Department of Panylogy and Climate Dynamics, University of Goettingen, D-37073, Goettingen, Alemanha.

Isolda Maciel da Silveira

Coordenação de Ciências Humanas/Museu Paraense Emílio Goeldi.

Johannes Lehmann

Professor do Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, 14853, Estados Unidos da América, CL273@cornell.edu

João Barbosa da Rocha

Secretaria de Educação do Estado do Pará, Belém, PA, Brasil.

José Luiz Said Cometti

Bolsista Pibic, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia/ Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA, Brasil.

Joseph M. McCann

47 Lincoln Place, Brooklyn, NY, Estados Unidos da América, jmccann2@nyc.rr.com

Juan Carlos Guix

Departamento de Biologia Animal, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanha, jcguix@pangea.org

Juscilene A. Costa

Pesquisador, Museu paraense Emílio Göeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia CCTE, Belém, PA, Brasil, juscilene22@bol.com.br

Juergen Goeske

Pesquisador, Zentrum fuer Werkstoffanalytiklauf, Lauf a.d. Pegnitz, Alemanha,
juergen.goeske@werkstoffanalytik.de

Julie Major

Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences, Ithaca, NY, Estados Unidos da América, jm322@cornell.edu

Kátia Fernanda Garcez Monteiro

Professora da Escola Superior da Amazônia, Belém, PA, Brasil, kfgarcez@amazon.com.br

Kenitiro Suguio

Professor do Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, pesquisador do CNPq, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil, kenitirosuguio@hotmail.com

Keshav C. Das

Professor da Faculty of Engineering. Department of Biological and Agricultural Engineering, Driftmier Engineering Center, The University of Georgia, Estados Unidos da América, kdas@engr.uga.edu

Kleber Worsley de Souza

Doctorando da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, kleberworsley@yahoo.com.br

Ladislau Martin Neto

Físico, D. Sc. em Física Aplicada, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil, martin@cnpdia.embrapa.br

Laura A. German

Pesquisadora do Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, l.german@cgiar.org

Luiz Eduardo O. e C. de Aragão

Professor da University of Oxford, Centre for the Environment, Dyson Perrins Building, South Parks Road, Reino Unido, luiz.aragao@ouce.ox.ac.uk

Manoel da Silva Cravo

Engenheiro agrônomo, D. Sc. em Energia Nuclear na Agricultura, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, Brasil, msravo@gmail.com

Marciléia Silva do Carmo

Pesquisadora do Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, marcileia@ufpa.br

Marcondes Lima da Costa

Professor, pesquisador-bolsista do CNPq, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, mlc@ufpa.br

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

Pesquisadora do Centro de Geociências, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA, Brasil, ruivo@museu-goeldi.br

Maria Emília Rezende

Pesquisadora do Biocarbo, Brasil

Maria Lúcia Absy

Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM, Brasil, lucia.absy@pq.cnpq.br

Marina Pinheiro Klüppel

Analista Ambiental do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Flora Brasileira, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, SCEN, Brasília, DF, Brasil, makluppel@yahoo.com.br

Maurício R. Coelho

Engenheiro agrônomo, M.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, mrcoelho@cnps.embrapa.br

Michael J. Heckenberger

Professor do Department of Anthropology, University of Florida, 141 Turlington Hall, P.O. Box 117315, Gainesville, FL, Estados Unidos da América.

Morgan J. Schmidt

Pesquisador do Department of Anthropology, University of Florida, Gainesville, FL, Estados Unidos da América, morgans@ufl.edu

Murilo Rodrigues de Arruda

Engenheiro agrônomo, M. Sc. em Fertilidade do Solo e Nutrição Vegetal, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Brasil, rmurilo.arruda@cpaa.embrapa.br

Nestor Kämpf

Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, nestorkampf@gmail.com

Newton Paulo de Souza Falcão

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM, Brasil, nfalcao@inpa.gov.br

Nicolas Comenford

Professor, Florida, Estados Unidos da América, nbc@mail.ifas.ufl.edu

Philip M. Fearnside

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM, Brasil, pmfearn@inpa.gov.br

Paulo Roberto S. Farias

Pesquisador do Instituto de Ciências Agrárias (UFRA), Belém, PA, Brasil.

Rodrigo Santana Macedo

Mestrando da Universidade Federal do Amazonas (Ufam), Curso de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Manaus, AM, Brasil, rmacedo@ufam.edu.br

Samuel Soares de Almeida

Pesquisador do Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Botânica, Belém, PA, Brasil, samuel@museu-goeldi.br

Silane Aparecida Ferreira da Silva

Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Divisão do Curso de Pós-Graduação em Ecologia (DCEC), Pos-Doc, Smithsonian Tropical Research Institute, CTPA, Panamá City, Panamá.

Simone Nunes Ferreira

Advogada, Embrapa Sede, Brasília, DF, Brasil, simone2005@mac.com

Susanna B. Hecht

Professora da University of California at Los Angeles, School of Public Affairs, Los Angeles, Estados Unidos da América, sbhecht@ucla.edu

Sundari Narayan Swami

Engenheira, Bolsista, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Brasil, Universidade de Cornell, Estados Unidos da América.

Tarcísio Ewerton Rodrigues

Pesquisador aposentado da Embrapa da Amazônia Oriental, Belém, PA, Brasil, tarcisio@embrapa.cpatu.com.br

Thomas T. Adams

Professor do Biorefining and Carbon Cycling ProgramThe University of Georgia, Ahtens, GA, Estados Unidos da América, tadams@engr.uga.edu

Tony Jarbas Ferreira Cunha

Engenheiro agrônomo, M. Sc. em Geociências, pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE, Brasil, tony@cpatsa.embrapa.br

Vinicius de Melo Benites

Engenheiro agrônomo, D. Sc. em Solos e Nutrição de Plantaspesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, vinicius@cnps.embrapa.br

Wenceslau Geraldes Teixeira

Engenheiro agrônomo, D. Sc. em Física e Manejo do Solo, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Brasil, wenceslau@cpaa.embrapa.br

William Balée

Professor do Department of Anthropology, Tulane University, New Orleans, Louisiana, Estados Unidos da América, wbalee@tulane.edu

William I. Woods

Professor, Kansas University, Snow Hall 1460 Jayhawk Boulevard Room 415 -KS 60045 7523, Estados Unidos da América, wwoods@ku.edu

William M. Denevan

Professor Emeritus do Department of Geography, University of Wisconsin-Madison, Gualala, Estados Unidos da América, sbden@saber.net

Wim Sombroek

In memorian

Winfried E.H. Blum

Professor, University of Natural Resources and Applied Life Sciences (Boku), Vienna, Austria, winfried.blum@boku.ac.at

Wolfgang Zech

Professor, Universität Bayreuth, Bodenkunde, Bayreuth, Alemanha, wolfgang.zech@uni-bayreuth.de

Apresentação

Os solos amazônicos são quase que universalmente imaginados como extremamente restritos quanto às suas qualidades. No entanto, é reconhecido atualmente que sociedades complexas com grandes populações sedentárias estavam estabelecidas por mais de um milênio antes mesmo do primeiro contato europeu. Este fato está associado com traços férteis irregulares de solos escuros denominados de Terras Pretas de Índio da Amazônia. Estes solos são atualmente importante recurso agricultável na Amazônia, que se apresenta como um modelo de desenvolvimento a longo prazo para um futuro sustentável na produção de alimentos em ambientes tropicais. Este livro marca um importante estágio no desenvolvimento de pesquisas sobre esses solos.

Apesar de existirem relatórios científicos sobre a presença desses solos desde o século 19, o significado das terras pretas ainda não é completamente compreendido e muitas são as questões a respeito de sua formação, evolução, uso, propriedades físicas e químicas, e a utilização efetiva desses solos ainda permanecem sem resposta. Ultimamente, é crescente o interesse de profissionais em estudar os antrossolos. Um grupo multidisciplinar de pesquisadores internacionais, composto principalmente por brasileiros conhecido por grupo Terra Preta Nova, vem conduzindo ativamente investigações principalmente no Brasil. A grande produtividade dessa colaboração é demonstrada em capítulos desse livro. Em cada capítulo são apresentados os avanços alcançados em compreender as terras pretas e o seu papel no passado e presente, assim como o seu importante papel no futuro da Amazônia.

O livro é dividido em três partes. Os capítulos da primeira parte abordam os fatores geológicos, climáticos, bióticos, e pedogenéticos associados com as interações culturais anteriores e o ambiente amazônico. A segunda seção enfoca nas terras pretas e suas origens, evolução, classificação, caracterização e uso, assim como as vegetações associadas a esses solos. Por último, são apresentados estudos e comentários associados com a recreação e o futuro potencial para a utilização agrônômica.

Nos últimos cinco anos foram publicados três outros livros sobre terras pretas. Este é o primeiro livro com uma discussão compreensiva sobre esses solos em português, o que é adequado, pois a maior parte da pesquisa tem sido e continua sendo conduzida no Brasil por brasileiros. Espera-se que esse livro possa contribuir para uma maior disseminação do conhecimento das terras pretas e resulte em uma valorização dessa herança cultural nacional.

William I. Woods
Professor

Foreward

Amazonian soils are almost universally thought of as extremely forbidding. However, it is now clear that complex societies with large, sedentary populations were present for over a millennium before European contact. Associated with these are tracts of anomalously fertile, dark soils termed Terras Pretas de Índio da Amazônia. These soils are presently an important agricultural resource within Amazonia and provide a model for developing long-term future sustainability of food production in tropical environments. This volume marks an important stage in the development of research concerning these soils.

Even though scientific reports of their existence extend back well into the 19th century the significance of the terras pretas was not fully understood and many questions concerning their formation, evolution, use, physical and chemical properties, and effective utilization remained unresolved. Lately though, there has been a great professional interest in these distinctive anthrosols and a multidisciplinary, international group of scholars, termed the Terra Preta Nova Group, have been actively conducting investigations, primarily in Brasil. The great productivity of this open collaboration is demonstrated by the chapters in this volume. Each has provided a measure of the advances made towards our understanding of the terras pretas and their role in the past and present and potential role in the future of Amazonia.

The volume is divided into three parts. The chapters of the first address the geological, climatic, biotic, economic, and pedogenic factors associated with prior cultural interactions with the Amazonian environment. The second section focuses on the terras pretas and their origin and evolution, classification, characterization, and use, as well as the vegetation associated with them. Finally, studies and commentary associated with their recreation and future potential for agricultural utilization are presented.

While three other books on the terras pretas have been published in the last five years, this is the first comprehensive discussion of these soils to appear in Portuguese. This is only fitting as the majority of the research has been and continues to be conducted in Brasil by Brazilians. It is hoped that this volume will contribute to the wider dissemination of knowledge of the terras pretas and result in a greater appreciation of this most significant aspect of the national cultural heritage.

William I. Woods
Teacher

Prefácio

As características de elevados estoques de carbono e elevada fertilidade dos horizontes antrópicos de alguns solos na Amazônia, conhecidos localmente como Terras Pretas de Índio vem despertando o interesse da comunidade científica mundial já há alguns anos.

A intensidade de estudos e simpósios tratando especificamente deste tema têm crescido muito nos últimos anos, tendo sido realizados diversos congressos, simpósios, documentários e ocorrido a publicação de artigos científicos sobre o tema com elevado impacto na comunidade científica.

Nos últimos quatro anos foram publicados dois livros tratando exclusivamente sobre as Terras Pretas de Índio (Amazonian Dark Earth: Origin, properties and management, que foi editado por Johannes Lehmann, Dirse Kern, Bruno Glaser e William Woods publicado pela editora Kluwer em 2003; e o livro Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time, editado por Bruno Glaser e William Woods publicado pela editora Springer em 2004).

Entretanto, há uma crescente demanda para a apresentação dos diversos resultados dispersos em publicações muitas vezes de difícil acesso num livro em língua portuguesa. Este fato se concretiza agora com a publicação deste volume pela Editora da Universidade Federal do Amazonas (EDUA).

Foram convidados os pesquisadores mais ativos de diversas áreas do conhecimento envolvidos nos estudos diretos e implicações do conhecimento das características das Terras Pretas de Índio. O volume foi dividido em três grandes seções, sendo a primeira denominada **“O Ambiente Amazônico”**, onde são apresentadas as características históricas, geográficas e culturais do ambiente onde as Terras Pretas de Índio foram formadas. Na segunda seção, denominada de **“As Terras Pretas de Índio na Amazônia”**, os capítulos selecionados apresentam o nosso conhecimento atual sobre este tema. Na terceira e última seção, chamado de **“Terra Preta Nova”**, são discutidos aspectos da importância e potencial do conhecimento sobre as Terras Pretas de Índio na “moderna” agricultura tropical e aspectos relacionados ao carbono pirogênico, um dos componentes das TPI que exerce uma marcante influência nas características das TPI. Nesta seção os capítulos também apresentam resultados de experimentos com a aplicação de carvão vegetal como condicionador do solo. Esta é uma linha de pesquisa que por si só já tomou caminhos próprios com publicações em congressos específicos sobre este tema, E inspiração para muitos que trabalham nestes estudos foram as TPI da Amazônia.

Os Editores

Sumário

I - O Ambiente Amazônico

Paisagens Amazônicas sob a Ocupação do Homem Pré-histórico: Uma Visão Geológica.....15

Marcondes Lima da Costa; Hermann Behling; Kenitiro Suguio; Nestor Kaempf; Dirse Clara Kern

Registros Palinológicos das Mudanças Climáticas na Amazônia Brasileira Durante o Neógeno.....39

Maria Lúcia Absy; Silane Aparecida Ferreira da Silva

Culturas de Distúrbio e Diversidade em Substratos Amazônicos.....48

William Balée

As Atividades Econômicas das Populações Indígenas Amazônicas e a Formação das Terras Pretas: O Exemplo dos Asurini do Xingu.....54

Fabiola Andréa Silva

Os Solos e as Ciências Humanas: Interpretação do Passado.....62

William Woods

II - As Terras Pretas de Índio na Amazônia

Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio.....72

Dirse Clara Kern; Nestor Kämpf; William I. Woods; William M. Denevan; Marcondes Lima da Costa; Francisco Juvenal Lima Frazão; *Win Sombroek in memoriam*

As origens Agrícolas da Terra Mulata na Amazônia.....82

William Denevan

Classificação das Terras Pretas de Índio e Outros Solos Antrópicos Antigos.....87

Nestor Kämpf; William I. Woods; Dirse Clara Kern; Tony Jarbas Cunha

Formação de Terra Preta na Região do Alto Xingu: Resultados Preliminares.....103

Morgan J. Schmidt; Michael J. Heckenberger

A Etnociência comparativa das Terras Pretas Amazônicas.....127

Laura A. German; Susanna B. Hecht; Maria de Lourdes Ruivo

Diversidade Vegetal em Solos Antrópicos da Amazônia.....146

Charles R. Clement; Marina Pinheiro Klüppel; Laura A. German; Samuel Soares de Almeida; Julie Major; Luiz Eduardo O. e C. de Aragão; Juan Carlos Guix; Eduardo Lleras; Antoinette M. G. A. Winkler Prins; Susanna B. Hecht; Joseph M. McCann

Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas.....162

Juscilene A. Costa; Dirse Clara. Kern; Marcondes Lima da Costa; Tarcísio Ewerton. Rodrigues; Nestor Kämpf; Johannes Lehmann; Francisco Juvenal Lima Frazão

| | |
|--|------------|
| Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo..... | 172 |
| Beáta Emöke Madari; Tony Jarbas Ferreira Cunha; Etelvino Henrique Novotny; Débora Marcondes Bastos Pereira Milori; Ladislau Martin Neto; Vinicius de Melo Benites; Maurício R. Coelho; Gabriel A. Santos | |
| A Fertilidade dos Solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central..... | 189 |
| Newton Falcão, Adônis Moreira, Nicolas Briam Comenford | |
| Métodos de Caracterização Química de Amostras de Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio..... | 201 |
| Adônis Moreira; Wenceslau Geraldtes Teixeira; Gilvan Coimbra Martins; Newton Paulo de Souza Falcão | |
| Características Químicas e Mineralógicas e a Distribuição de Fontes de Fósforo em Terras Pretas de Índio da Amazônia Ocidental..... | 212 |
| Hedinaldo Narciso Lima; Carlos Ernesto G.R. Schaefer; Nestor Kämpf; Marcondes Lima Costa, Kleberson Worsley de Souza | |
| A mineralogia e Composição Química de Fragmentos de Cerâmicas Arqueológicas em Sítios de Terra Preta de Índio..... | 225 |
| Marcondes Lima da Costa; Mariléia Silva do Carmo; Edivan Costa Oliveira; Hedinaldo Lima; Dirse Clara Kern; Juergen Goeske | |
| As Propriedades Físicas Dos Horizontes Antrópicos (Terras Pretas de Índio e Terras Mulatas) na Amazônia..... | 242 |
| Wenceslau Geraldtes Teixeira; Gilvan Coimbra Martins; Rodrigo Santana Macedo; Afrânio Ferreira Neves Junior; Adônis Moreira; Vinicius de Melo Benites; Christoph Steiner | |
| III - Terra Preta Nova | |
| Terra preta e terra mulata: suas potencialidades agrícolas, sua sustentabilidade e suas reproduções..... | 251 |
| Wim Sombroek; Dirse Kern; Tarcísio Rodrigues; Manoel da Silva Cravo; Tony Jarbas F. Cunha; William Woods; Bruno Glaser | |
| Estoque e Estabilidade do Carbono nos Solos da Amazônia Brasileira..... | 258 |
| Philip M. Fearnside | |
| O Carbono Pirogênico..... | 263 |
| Tony Jarbas Ferreira Cunha; Etelvino Henrique Novotny; Beáta Emöke Madari; Vinicius de Melo Benites; Ladislau Martin-Neto; Gabriel de Araújo Santos | |
| Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio..... | 285 |
| Vinicius de Melo Benites; Wenceslau Geraldtes Teixeira; Maria Emília Rezende; Alexandre Santos Pimenta | |
| Corte e Carbonização Com Uma Alternativa Ao Corte E Queima: Estudos na Amazônia..... | 297 |
| Christoph Steiner; Wenceslau Geraldtes Teixeir, Sundari Narayan; Julie Major; Johannes Lehmann; Wolfgang Zech; Winfried E.H. Blum | |
| Utilização de Resíduos de Carvão Vegetal Associado a Fontes Orgânicas de Nutrientes no Manejo Sustentável do Solo e do Guaranazeiro (<i>Paullinia cupana</i> var. <i>sorbilis</i>) na Amazônia Central..... | 306 |
| Murilo Rodrigues de Arruda; Wenceslau Geraldtes Teixeira | |

| | |
|---|------------|
| Uso de Resíduos Vegetais no Solo: Subsídios para a Formação de Terra Preta Nova em Tailândia (PA)..... | 314 |
| Kátia Fernanda Garcez Monteiro; Dirse Clara Kern; Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo; Tarcísio Ewertom Rodrigues; Paulo Roberto S. Farias; Marcondes Lima da Costa; Francisco Juvenal Lima Frazão; João Barbosa da Rocha; Isolda Maciel da Silveira; Helena Doris de A. Barbosa Quaresma; José Luiz Said Cometti | |
| Conversão Termoquímica de Biomassa em Biorefinarias..... | 328 |
| Garcia Perez; Keshav C. Das; Thomas T. Adams | |
| Acesso a Recursos Genéticos e a Conhecimento Tradicional Associado..... | 336 |
| Simone Nunes Ferreira | |
| Referências..... | 359 |
| Comissão Editorial..... | 418 |
| Tradutores..... | 420 |

Parte I

O Ambiente Amazônico

Paisagens Amazônicas sob a Ocupação do Homem Pré-Histórico: Uma Visão Geológica

Marcondes Lima da Costa
Hermann Behling
Kenitiro Suguio
Nestor Kaempff
Dirse Clara Kern

A impressão dominante que tive, e talvez correspondente a uma verdade positiva, é esta: o homem, ali, é ainda um intruso impertinente. Chegou sem ser esperado nem querido - quando a natureza ainda estava arrumando o seu mais vasto e luxuoso salão. E encontrou uma opulenta desordem... (Euclides da Cunha, - A margem da história).

Chegada do Homem à Amazônia

Na transição Pleistoceno tardio com Holoceno antigo, ao final da última glaciação do Hemisfério Norte, o homem já se fazia presente na Amazônia, ocupando uma grande variedade de *habitats*, como terras altas (firmes) e várzeas, florestas, cerrados e alagados (Roosevelt, 1994, 2002; Oliver, 2001), a ocupação paleoindígena (Roosevelt, 1991; Gomes, 2002), indicada por numerosos sítios pré-cerâmicos, a exemplo do sítio Caverna da Pedra Pintada, no Município de Monte Alegre com 11.200 anos AP (Roosevelt et al. 1996). Resíduos de plantas e animais mostram que esses habitantes utilizavam frutos da floresta, moluscos, peixes e tartarugas fluviais, e, bem menos, mamíferos terrestres. Muitos outros sítios pré-cerâmicos tardios, com datações entre 10 mil e 7 mil anos AP, são conhecidos nos escudos das Guianas (geologicamente o Cráton das Guianas) e no Cráton Brasileiro (Cráton Amazônico) (Roosevelt, 1994), no Sítio Peña Roja na Amazônia Colombiana (Mora, 2003), na Guiana Francesa (Meggers e Miller, 2003), e na Caverna Gavião na Serra de Carajás (Magalhães, 1994).

Da mesma forma que em outras regiões do mundo, a chegada do homem deve ter infligido transformações significativas nos distintos ambientes amazônicos, mesmos as culturas mais antigas e simples imprimiram neles modificações expressivas, principalmente nas áreas de seus assentamentos e circunvizinhanças, como mostram os inúmeros registros arqueológicos. Sabe-se há muito tempo que a paisagem e os ambientes geológicos estão em constantes transformações, e avaliar qual o impacto humano sobre eles, especialmente no curto e recente passado geológico, é um exercício de autoflagelo para uns, que aparentemente é eterno e admirável para outros, e parece ter acontecido ontem, principalmente para aqueles que procuram entender como funciona a natureza, longe de um pensamento de equilíbrio estático *ad eternum*. Em muitas regiões, sociedades indígenas formaram extensos depósitos de resíduos, para muitos simplesmente rejeitos, que alteraram as propriedades do solo (Lehmann et al., 2003), incrementando ou diminuindo suas aptidões, o que é natural, embora se pergunte para que, sob que ponto de vista? Se foi casual ou intencional, ou ambos? Algumas alterações marcantes na paisagem, podem ser vistas nas planícies de inundação do Marajó, nas planícies costeiras

das Guianas e Llanos de Mojos na Bolívia. São edificações de terra para assentamento, infra-estrutura de transporte e uso agrícola (Erickson, 1995 e 2003; Roosevelt, 2000 e 2002; Heckenberger et al., 2003). Devido a essa intensa interação entre os povos pré-históricos e a paisagem amazônica vários aspectos da Amazônia atual assumidos como “naturais”, podem ter sido, de fato, resultantes dessa atividade humana (Roosevelt, 2000; Neves et al., 2003).

Outro aspecto marcante deixado pelo homem pré-histórico na paisagem amazônica, possivelmente o mais contundente, com ampla distribuição, são as manchas de solos de cor negra ricos em matéria orgânica e com muitos fragmentos de artefatos cerâmicos, e por vezes com líticos, mais conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) e mesmo Terra Preta Arqueológica (TPA), ou simplesmente Terra Preta (Kaempfe e Kern, 2005). Esses solos destacam-se por sua alta fertilidade química, que teria resultado da prolongada ocupação humana pré-histórica (Eden et al., 1984; Pabst, 1985, 1991; Andrade, 1986; Kern, 1996; Woods e McCann, 1999; Costa e Kern, 1999; Glaser et al., 2001; Lima et al., 2002; Kaempfe et al., 2003; Lehmann et al., 2003; Hecht, 2003; German, 2003; Ruivo et al., 2003; Neves et al., 2003; Costa et al., 2003; Kern et al., 2003; Glaser e Woods, 2004; Kaempfe e Kern, 2005). A sua alta fertilidade contrapõe-se àquela dos solos amazônicos, em geral pobres e ácidos, que, segundo Meggers (1996), teriam sido uma limitação natural (determinismo ecológico) imposta ao desenvolvimento humano na Amazônia.

Uma tentativa de reconstituir a paisagem encontrada pelos primeiros paleoíndios na Amazônia e as transformações ocorridas nela, seja por sua interferência seja por processos naturais, e como o homem tirou proveito dessas transformações paisagísticas é uma discussão muito intrigante que, longe de ser exaurida neste trabalho, e nem é a sua pretensão, já foi abordada por vários autores (Meggers, 1996; Roosevelt, 1991, Roosevelt et al., 1996; Seda, 2001), embora sem uma visão geológica mais aprofundada, haja vista a preocupação desses autores estar centrada em distinguir os povos das várzeas e das terras firmes, suas limitações em termos das variações de solos, água e disponibilidade de alimentos, quer de origem vegetal ou animal. Heckenberger et al. (2003), ao investigarem por quase uma década os costumes dos índios do Parque do Xingu, concluíram que eles e seus antepassados, de 1.200 a 1.600 anos AD, conseguiram imprimir fortes mudanças no meio ambiente em que viviam, modificando solos, floresta e deixando cicatrizes nos terrenos, através de obras civis, de grande porte que são reconhecíveis até hoje.

Os estágios evolutivos desta ocupação

Ainda permanece o debate se a ocupação humana pré-histórica na Amazônia instalou-se a partir dos assentamentos de várzea ou de terra firme, com o desenvolvimento ou não de sociedades indígenas populosas e sedentárias (Kaempfe e Kern, 2005). Meggers (1996) considera que a pobreza de recursos ambientais na Amazônia tenha sido o fator limitante para a subsistência e a expansão populacional indígena, impedindo sua evolução social em níveis mais complexos e organizados. O seu *habitat* essencial, formado pela floresta tropical úmida e densa com solos ácidos e pobres, produtos do intenso intemperismo químico e biológico, não seria capaz de proporcionar aos caçadores e coletores abundância de animais e plantas comestíveis, além de ser inadequado para agricultura intensiva, que permitisse vida sedentária. Daí o desenvolvimento de uma agricultura itinerante, exigindo uma baixa densidade populacional com curta permanência em cada local, que limitou o desenvolvimento cultural (Meggers, 1996). Culturas avançadas, como as registradas na Ilha de Marajó e no Baixo Tapajós, foram consideradas de origem andina e teriam deteriorado-se após se radicarem na Amazônia, por conta do *determinismo ecológico* de Meggers (1996): “o nível de cultura das sociedades é condicionado pelo potencial agrícola do ambiente que ocupam”. Esta assertiva constitui simplificação da complexa natureza amazônica tanto no espaço como no tempo.

Há evidências de que a Amazônia foi ocupada por uma grande diversidade de povos e culturas (Fig. 1), em uma longa e dinâmica trajetória de desenvolvimento. Roosevelt (1991) distingue a seguinte linha de desenvolvimento do homem pré-histórico na Amazônia, como uma longa história de adaptação ecológica ao meio ambiente local:

- Ocupação paleoindígena há 11.200 anos AP, isto é, no Pleistoceno Tardio;
- Cultura de pescadores e coletores ao longo do Amazonas, durante o Holoceno, entre 7.500 e 4.000 anos AP, quando se iniciou a produção de cerâmica;
- Evolução para horticultores de raízes, entre 4 mil e 3 mil anos AP, com produção de cerâmicas com decoração incisa, apêndices zoomorfos e localmente pinturas geométricas vermelhas e brancas em pleno Holoceno;
- Cultura dos construtores dos tesos (*mounds*) desde 1.000 anos AC;
- Sociedades complexas e hierarquizadas, relacionadas aos horizontes cerâmicos policrômicos, incisos e ponteados, que foram desarticuladas pela conquista.

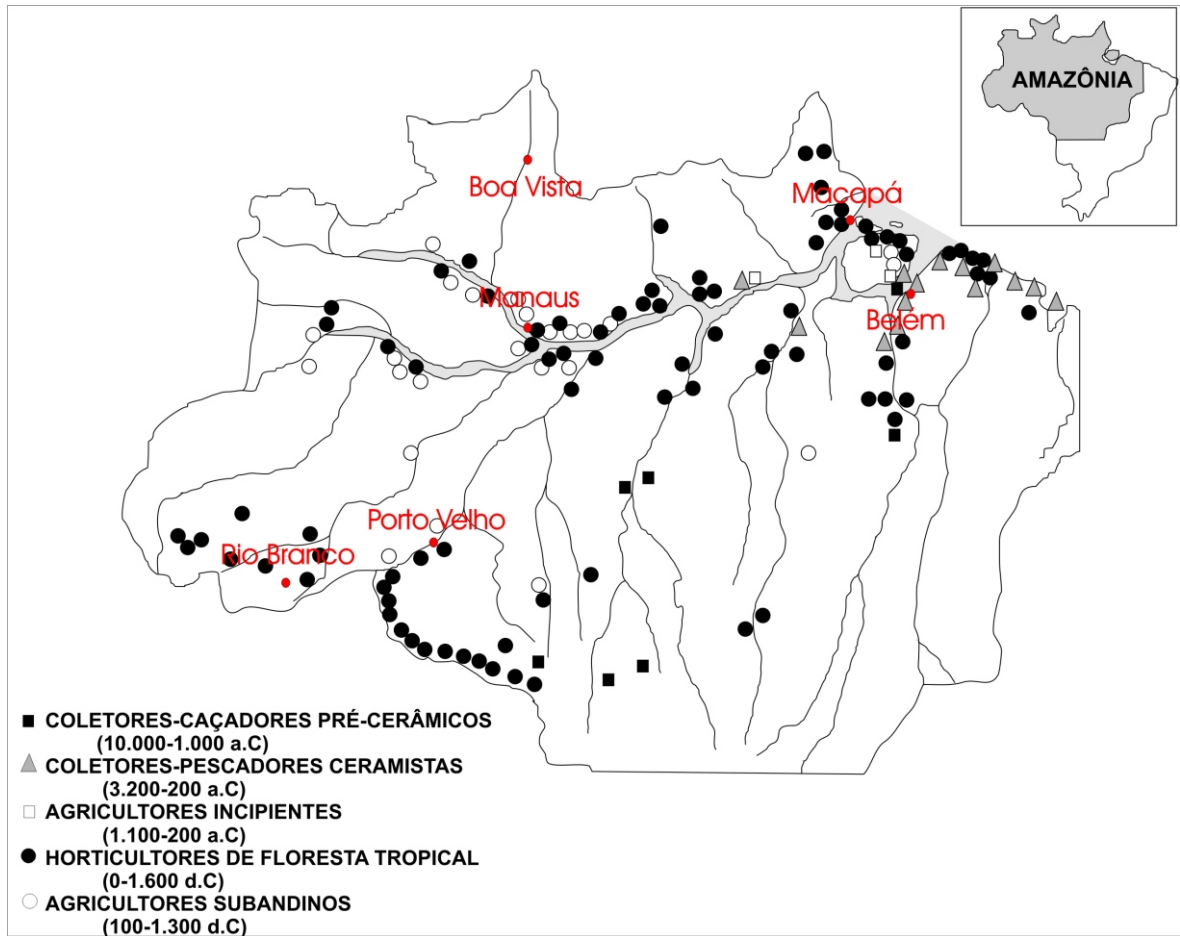


Fig. 1. Distribuição geográfica dos principais sítios arqueológicos identificados na Amazônia Brasileira.

Desse modo, podem ser reconhecidos os dois principais estágios culturais: caçadores-coletores e ceramistas.

Caçadores-coletores

A presença de bandos de paleoíndios caçadores-coletores é indicada por numerosos sítios pré-cerâmicos datados entre cerca de 11.400 e 10.000 anos AP (Roosevelt et al., 1996) na Caverna da Pedra Pintada (Monte Alegre, Baixo Amazonas), em sítios pré-cerâmicos tardios, datados entre 10 mil e 7 mil anos AP, no Escudo das Guianas (Amazônia Colombiana e Guiana Francesa) e na Caverna Gavião na

Serra de Carajás (Magalhães, 1994; Kaempf e Kern, 2005). Muitos outros sítios pouco conhecidos demonstram que a Amazônia foi ocupada e/ou atravessada por bandos de caçadores-coletores em toda sua extensão e por longo tempo, quando refúgios florestais circundados por savanas (Hooghiemstra e Hammen, 1998) iam domando progressivamente estas, o homem vivia, possivelmente, em regiões de transição. Em condições primitivas de vida, certamente poucas transformações foram introduzidas na paisagem amazônica por esses seres humanos pré-históricos.

Ceramistas

Datações por radiocarbono em matéria orgânica contida em fragmentos cerâmicos de sambaquis no Médio e Baixo Amazonas evidenciam o desenvolvimento das sociedades ceramistas mais antigas, isto é, 3 mil anos antes das sociedades andinas (Roosevelt, 1991), que se alimentavam de peixes e moluscos abundantes nas planícies e estuários amazônicos, como mostram restos de ossos e conchas desses animais. A existência de numerosos sambaquis cerâmicos, principalmente no Médio e Baixo Amazonas, que se estendem por até 20 hectares (Roosevelt, 1994), atestam o sedentarismo com assentamento de aldeias. Este sistema de vida manteve-se sustentável durante 4 mil anos, aparentemente até com uma bastante produtiva horticultura de mandioca (*Manihot esculenta*) (Roosevelt, 1991). Numerosas aldeias permanentes de horticultores ceramistas estabeleceram-se, entre 4.500 e 2.000 anos AP, ao longo das várzeas dos principais rios da Amazônia entre Santarém e Xingu (Heckenberger et al., 1999; 2001). A proteína era suprida, principalmente, pela abundante fauna ribeirinha (Roosevelt, 1991, 2002) e a indústria cerâmica, horticultura e pesca, mostram a íntima integração do homem pré-histórico com a paisagem fluvial.

A partir de 1.000 anos AC até 1.000 anos AD, a população humana pré-histórica da Amazônia experimentou grande surto desenvolvimentista, com aumento da população permanente, que passou a ocupar tanto grandes áreas de várzea como partes de terras firmes. Essa situação perdurou até os séculos XVI e XVII por ocasião do primeiro contato com os europeus (Roosevelt, 1994), quando surgiram sociedades complexas com agricultura intensiva, sítios nucleados urbanos com arquitetura de terra e aterros agrícolas (Kaempf e Kern, 2005), semelhantes ao complexo descrito por Heckenberger et al. (2003) na Reserva Indígena do Xingu, e quiçá contemporâneos. Talvez os geoglifos encontrados ao longo da bacia do rio Acre, sejam desta época. No segundo milênio, consoante Roosevelt (1994), o milho torna-se um alimento importante, tanto nas várzeas quanto nas terras altas; o novo sistema de vida com adensamento populacional passou a exigir maiores quantidades de alimentos, matéria-prima para a confecção de artefatos cerâmicos e espaços residenciais. O homem começava a dominar e melhorar o seu bem estar, enquanto imprimia as primeiras modificações significativas nas paisagens, nos solos e na vegetação. Nas várzeas e imediações, havia produção de muitos artefatos cerâmicos e foram erguidas monumentais construções de terra (Nimuendaju, 1952; Roosevelt, 1991; Heckenberger et al., 2003), com organização social e política (Porro, 1994), como o Centro do Cacicado Tapajônico, hoje na área de influência do Município de Santarém (PA). Neste contexto insere-se a cerâmica de Santarém, produzida entre 900 a 1.200 anos AD (Gomes, 2002) e encontrada a dezenas de quilômetros da margem do grande rio, em terra firme com terra preta (McCann, 1999). A Cultura Marajoara que esteve estabelecida na Ilha de Marajó, de 500 anos a pouco antes de 1.500 anos AD, introduziu grandes mudanças nos cenários, pois ocupavam áreas de 10 a 20 km², com agrupamentos de 20 a 40 tesos (aterros artificiais) e numerosos cemitérios, vestígios de casas e solos antrópicos (Roosevelt, 1991; 1994). Esses aterros estavam livres das inundações anuais e eram ocupados continuamente por 500 a 1.000 anos, como locais de moradia, de práticas da agricultura, funções políticas e cerimoniais (Schaan, 2001). Quando os europeus aqui chegaram, por motivos ainda desconhecidos, essa cultura já havia desaparecido completamente (Roosevelt, 1991; 1994). Entretanto, mesmo com técnicas atualmente consideradas rudimentares, esses povos introduziram modificações expressivas no relevo, que são observáveis até hoje. Na região oriental do Estado do Acre, Ranzi e Aguiar (2004) descreveram feições geométricas, denominadas geoglifos, com centenas de metros, entalhados ou esculpidos no solo. Em vista aérea estendem-se por

centenas de quilômetros, desde as proximidades das nascentes do Rio Acre no Peru até a sua desembocadura no Rio Purus em pleno Estado do Amazonas, aparentemente sempre seguindo as terras altas da margem leste do Rio Acre. Essa área é também aquela ocupada pelos grandes castanhais, castanheira-do-pará (*Bertholletia excelsa*). Os geoglifos, que parecem estender-se até o Departamento de Pando na Bolívia, demonstram claramente a força do homem pré-histórico que ocupou a região.

Extensos e numerosos, os assentamentos permanentes constituíam sociedades complexas, cujo desenvolvimento dependia de agricultura intensiva (Denevan, 2001; 2004). Na Amazônia, a agricultura pré-histórica teria sido viabilizada graças à fertilidade dos solos de várzea, especialmente dos rios de águas brancas, renovada periodicamente pelas inundações anuais, contrapondo-se aos solos ácidos e pobres de terra firme (Meggers, 1996; Roosevelt 2000). Esse desenvolvimento era, de certa forma, similar ao de outras regiões do mundo, tais como: a da Mesopotâmia, do Rio Nilo no Egito e China. Estima-se para o pré-histórico tardio uma população numerosa, que poderia ter sido de 5,7 milhões até 10 milhões de habitantes (Denevan, 1992 e 2001), que, distribuída em aldeias e povoados, praticavam agricultura intensiva de raízes e grãos. Pode-se assim imaginar como foi grande o impacto antrópico sobre a paisagem amazônica, remodelando ou redirecionando seu curso natural, principalmente nos ambientes fluviais e lacustres, como também nas zonas de transição savana-floresta. O uso de solos de terra firme e o abandono após a exaustão deste, originaram novos horizontes de solo superficial (A), via pedogênese em clima úmido tropical, ricos em húmus que fixou os nutrientes minerais contidos nos resíduos, formando solos mais férteis que os de outrora, constituindo os inúmeros sítios de Terra Preta de Índio (Kern, 1996; Kaempfe e Kern, 2005).

As Paisagens Amazônicas e os Impactos Introduzidos pelo Homem Pré-Histórico

Quando se consideram as áreas de escudos e as grandes bacias sedimentares (Fig. 2), as paisagens amazônicas de outrora pouco diferiam das atuais. As grandes diferenças são verificadas nas regiões costeiras dos Estados do Pará e Amapá, no grande vale do Rio Amazonas-Solimões e adjacências até o Arquipélago do Marajó e, além disso, na grande planície aluvial do sudoeste da Amazônia.

A paisagem sobre o Cráton Amazonas

O Cráton Amazonas envolve os Escudos das Guianas e Brasil-Central (Amazônico) (Santos, 2003) constituídos por terrenos Arqueanos a Proterozóicos localizados nas regiões setentrionais e meridionais do grande vale do Rio Amazonas, respectivamente (Fig. 2). Entre os escudos encontram-se os sedimentos paleozóicos e mesozóicos da bacia do Amazonas, uma feição também de ampla distribuição, formando o substrato do grande vale do Rio Amazonas. Os escudos ocupam grandes extensões, dispostas em faixas leste-oeste, ao norte e sul do eixo do grande Rio Solimões-Amazonas e são constituídos de rochas granitóides, seqüências vulcanossedimentares máficas e ultramáficas, formações ferríferas bandadas, e manganesíferas, complexos máfico-ultramáficos e ainda seqüências sedimentares de cobertura. Durante o Cenozóico foram modificados na superfície por formação de materiais lateríticos (Costa, 1991), que perduram até os dias atuais, que são assim, em princípio, os materiais geológicos encontrados pelo homem pré-histórico, além dos sedimentos mais jovens. A lateritização atingiu toda a Região Amazônica em dois grandes eventos (Costa, 1991): Paleoceno-Oligoceno, o principal e mais extensivo e Mioceno-Pleistoceno, sem se esquecer da retomada incipiente no Holoceno. Ao longo do Mioceno superior ao Plioceno, a extensiva superfície laterítica sobre os crátons foi palco de intensa atividade erosiva, propiciada pelo soerguimento neotectônico (Bemerguy e Costa, 1991; Suguio, 1999; Saadigeoiguacu [geoiguacu@brturbo.com] et al., 2005), esculpindo platôs, serras, morros e vales, além de contribuir para a formação de sedimentos e solos transportados, conhecidos como Argila de Belterra na Amazônia Oriental (Sombroek, 1966; Truckenbrodt et al., 1991). Portanto, ao tempo da chegada do homem pré-histórico, as regiões cratônicas já eram formadas por paisagem em geral de maior altitude, com platôs capeados por

espessos materiais lateríticos (crostas ferruginosas e solos); encostas com material rochoso; vales com muitos colúvios e alúvios; planícies rebaixadas pela erosão, com morros e exposição de saprolitos e rochas, tal qual se apresentam atualmente. Essa era a paisagem afastada do grande vale e cortada pelos cursos superiores do Tocantins, Araguaia, Tapajós e Xingu ao sul e Paru, Maicuru e Trombetas ao norte. A ocupação humana desse cenário geológico parece ter sido menos intensa, restringindo-se mais às margens dos rios, pois o domínio da floresta sobre as savanas nas terras firmes dificultava a ocupação humana (Seda, 2001). Ao sul do Pará e em parte do Estado do Amazonas, extensas áreas com coberturas lateríticas e desflorestadas foram intensamente erodidas, expondo a base dos saprolitos e suas rochas, que antes de serem retomados pela floresta foram explorados pelo homem pré-histórico, que deixaram inúmeros desenhos (pinturas) rupestres nos blocos de rochas (Fig. 3), tanto em terra firme (Sul do Pará, Monte Alegre e Alenquer e no Lavrado Roraimense, entre outros) como em leitos dos rios (Tapajós, Xingu, Araguaia, entre outros), como mostra o trabalho de Pereira (2003). Sítios pré-cerâmicos tardios, com materiais líticos, com idades entre 10 mil e 7 mil anos AP foram encontrados no Cráton das Guianas e de 8 mil a 6 mil anos AP no Cráton Amazônico (Roosevelt, 1994) e, finalmente, de cerca de 8 mil anos AP na Caverna Gavião na Serra de Carajás (Magalhães, 1994). Por sua vez, Heckenberger et al (2003) descreveram o desenvolvimento de uma sociedade muito organizada, com obras civis de grande porte, tais como: estradas, barragens e aldeamento padronizado, com agricultura em larga produção na área hoje pertencente a Reserva Indígena do Xingu, ocupada por povos pré-históricos de 1.200 anos a 1.600 anos AD. Embora desenvolvida sobre terrenos cratônicos lateritizados e erodidos, a ocupação deu-se em terra firme, no entanto junto às margens do Rio Xingu. Os terrenos saprolíticos são muito mais adequados à agricultura mais duradoura do que os solos lateríticos sobrepostos, e talvez isto explique a existência de tantos destes assentamentos nestas áreas de terra firme.

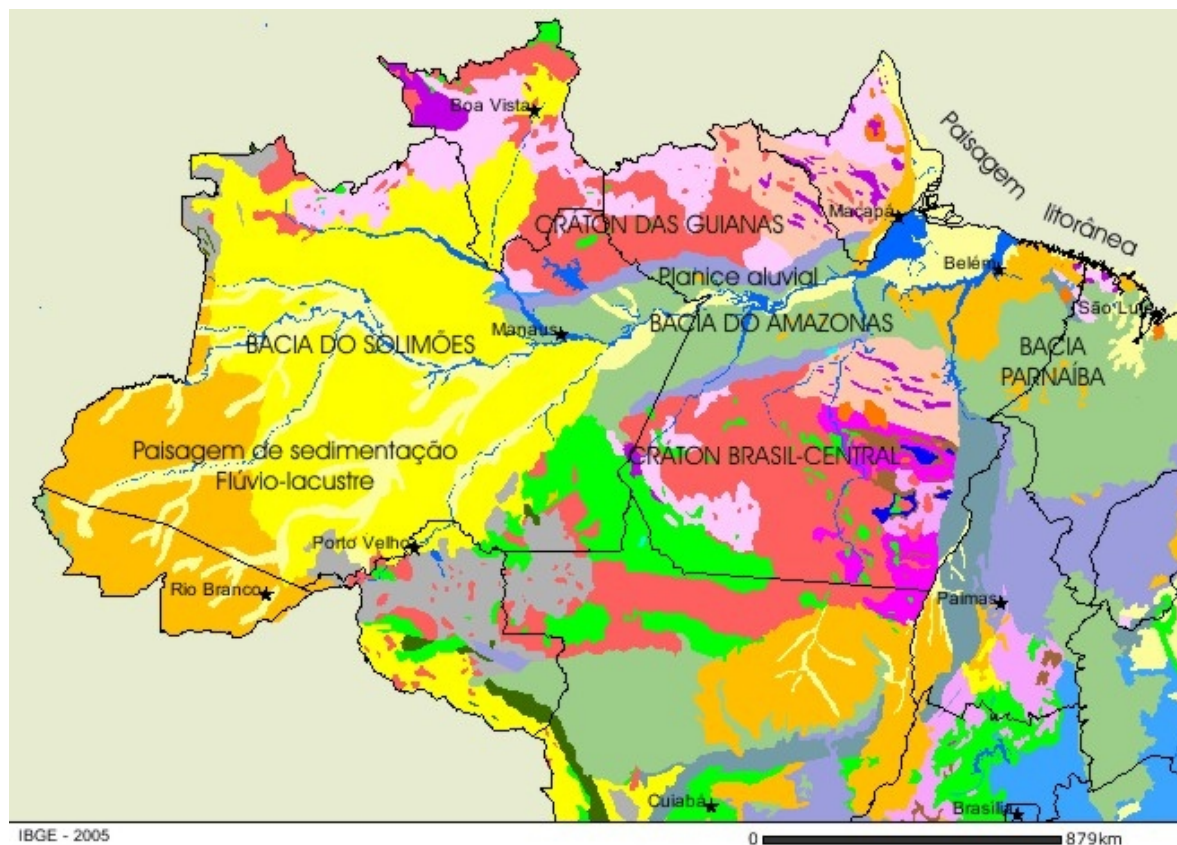


Fig. 2. Mapa geológico simplificado da Amazônia, com ênfase na ocupação humana em suas paisagens naturais.



Fig. 3. O Lavrado Roraimense com matacões e pães-de-açúcar de rochas graníticas que sobreviveram ao intenso intemperismo e a erosão em épocas passadas, cujas paredes e reentrâncias serviram de abrigo à ocupação humana, como na Pedra Pintada (Imagens A e B) e em Monte Alegre (imagens C e D).

A paisagem sobre Bacias Sedimentares Paleozóicas e Mesozóicas

As bacias sedimentares do Amazonas e Parnaíba são, excetuando-se os escudos, as duas unidades geológicas mais importantes em termos de grande distribuição geográfica, tendo o Cráton Amazônico como seu substrato (Fig. 2). A Bacia do Amazonas ocupa uma grande área central de disposição também leste-oeste, entre os dois escudos, onde mais tarde se instalou o grande vale do rio Amazonas. Acha-se preenchida no topo por sedimentos predominantemente flúvio-lacustres, representados por arenitos e argilitos, que constituem a paisagem. Da mesma forma que as rochas dos crátons, os sedimentos foram também afetados pelos dois eventos de lateritização e os mesmos processos de erosão e sedimentação de Mioceno superior ao Pleistoceno, desenvolvendo paisagem similar àquela sobre os crátons, no entanto de altitude bem mais baixa. Apresentam-se como platôs e morros de topos planos e raramente com crostas lateríticas, ao contrário dos crátons, separados por longos vales de fundo chato, com depósito coluvial, uma planície erosiva-coluvial. As diferenças paisagísticas entre as áreas das bacias sedimentares e as dos crátons estão relacionadas não somente às altitudes mais altas nestas e mais baixas naquelas, mas também aos tipos de solos; uma vez que as rochas sedimentares detríticas das bacias desenvolvem Latossolos amarelos, enquanto nos crátons ocorrem os vermelhos; contudo, ambos estão relacionados às formações lateríticas. Estas diferenças foram vivenciadas pelo homem pré-histórico.

Na costa do Estado do Pará os sedimentos da Bacia do Parnaíba e seus produtos lateríticos antigos foram parcialmente recobertos por sedimentos miocênicos marinhos da Formação Pirabas, por sua vez superpostos por sedimentos continentais fluviais e litorâneos da Formação Barreiras. Estes sedimentos sofreram intensa lateritização imatura durante o Pleistoceno, quando se formaram Latossolos Amarelos, sobre os quais se desenvolveu paisagem de relevo baixo e ligeiramente ondulado. Condições hidromórficas posteriores sobre os Latossolos propiciaram formação de muitos Podzols areno-quartzosos. Esta paisagem com Latossolos e Podzols, que chegou aos nossos tempos foi amplamente ocupada pelo homem pré-histórico, como atestam inúmeros sítios arqueológicos de ceramistas, de ceramistas-pescadores e construtores de sambaquis.

A paisagem da sedimentação fluvial a flúvio-lacustre de alimentação andina

Contextualização geológica

A grande área a sudoeste e a oeste da Amazônia, que corresponde, aproximadamente, a 25 % da Amazônia Brasileira, foi caracterizada por intensa e extensa sedimentação durante o Terciário e Quaternário (Mioceno ao Pleistoceno) (Fig. 4), contrariamente a Formação Pirabas, que é restrita em

área praticamente não-aflorante. Esta sedimentação representa uma resposta ao soerguimento andino a oeste, que deu origem à grande bacia Sedimentar do Acre e modificou a geometria da bacia Paleozóica do Solimões e suas sub-bacias delimitadas entre os arcos de Iquitos e Purus, parcialmente emersos (Mosmann et al., 1986; Hoorn, 1993; Feijó e Souza, 1994; Eiras et al., 1994; Kronberg et al., 1998). Além das áreas tipicamente emersas, representadas a leste pelo Cráton do Amazonas (escudo Brasil-Central), existem os sedimentos paleozóico-mesozóicos da Bacia do Amazonas a nordeste e norte e o Escudo das Guianas a norte e noroeste. A barreira andina promoveu, gradualmente, grande mudança climática, provocando a retenção dos vapores d'água tanto provenientes do Pacífico como do Atlântico e constituindo importante área-fonte de sedimentos e de nascentes fluviais. Inicialmente a bacia esteve sujeita às incursões marinhas do norte e noroeste provenientes do Mar de Caribe (Hoorn, 1993), entre o soerguimento dos Andes e o Cráton do Amazonas. Próximos aos Andes formaram-se verdadeiras fossas, que acumularam mais de 2.000m de sedimentos (a oeste do Estado do Acre e Tabatinga-AM) e mais de 7.000m no Peru (bacias do Ucayali e Pastaza/Marañon). São sedimentos predominantemente flúvio-lacustres de natureza siltico-argilosa a arenosa e carbonática, de paleoclimas úmido a semi-árido, que constituem a Formação Solimões (Feijó e Souza, 1994; Eiras et al., 1994). Os sedimentos da Formação Solimões depositados sobre o Cráton do Amazonas foram parcialmente lateritizados (lateritização imatura, Costa, 1991) durante o Pleistoceno e originaram Latossolos Amarelos (Argissolos) em relevo quase plano e mais elevado do Planalto Rebaixado da Amazônia. O contínuo soerguimento andino provocou o rápido assoreamento da bacia do Solimões (até 250 m de espessura em menos 50.000 anos segundo Kronberg et al., 1998), e que foram denominados de Formação Solimões. Esses depósitos foram soerguidos a sudoeste e rebaixados a nordeste, com o estabelecimento de uma rede de drenagem dirigida predominantemente de sudoeste e oeste para nordeste e leste (Almeida, 1974; Bemerguy e Costa, 1991). Estabelece-se sedimentação flúvio-lacustre anastomosada, sob paleoclima inicialmente úmido que passou para semi-árido no Pleistoceno tardio, como mostra ocorrência comum de concreções carbonáticas e gipsíticas (Costa e Costa 1988; Kronberg et al., 1998; Latrubesse e Rancy, 1995; Latrubesse et al., 2005). Próximos aos contrafortes andinos, estes sedimentos representam a coalescência de muitos leques aluviais (Latrubesse e Rancy, 1995), que deram origem a uma paisagem baixa e plana, de alta dinâmica de sedimentação fluvial, sob condições de clima ainda seco até chegar ao domínio de pântanos ainda no Pleistoceno tardio, quando foi ocupada pela megafauna de mamíferos e répteis (Kronberg et al., 1998). Datações por radiocarbono de Kronberg et al (1998) em troncos fósseis, concreções carbonáticas e ossos fósseis da megafauna, mostram idades do Pleistoceno tardio, menos de 53 mil anos AP, que pode ser acompanhado por registros de polens (Haberle e Maslin, 1999), durante o último período glacial do Hemisfério Norte. Concreções calcíticas e gipsíticas atestam as condições áridas (Costa e Costa, 1988).

Sedimentação Flúvio-Lacustre Pleistocênica Tardia a Holocênica

Com o fim do U.M.G. (último máximo glacial) no final do Pleistoceno, o clima seco passa para quente e úmido, e em toda a extensão da bacia Solimões estabelece-se o atual regime de sedimentação fluvial a flúvio-lacustre, sub-meandrante a meandrante, esparramando-se sobre os sedimentos da Formação Solimões, que são entalhados e retrabalhados (Fig. 4). Mas, gradualmente, surgiam ilhas de floresta tropical principalmente a norte-nordeste, como mostram as camadas de linhito e restos de troncos de madeira (Kronberg et al, 1998; Latrubesse et al., 2005). Paulatinamente, a complexa rede de drenagem que já fluía para nordeste, seria coletada por canal maior (do proto-Solimões) desenvolvido na zona de contato entre a Bacia Solimões e o Escudo das Guianas, a Sub-bacia Juruá (Caputo, 1991), que constitui uma zona tectônica reativada no Mioceno (Bemerguy e Costa, 1991). Esta sub-bacia fora limitada ao sul pela megazona de cisalhamento do Solimões, de direção leste-nordeste instalada ainda no Jurássico tardio (Caputo, 1991). São vales mais profundos, pois o nível do mar estava muito baixo por conta do U.M.G. (Suguio, 1999) e largos, por conta do contínuo soerguimento da região a sudoeste rumo a Cordilheira Andina. Latrubesse e Franzinelli (2002) reconhecem sedimentação fluvial nesta zona a partir de 14 mil anos AP, provavelmente quando da instalação dos Rios Madeira, Purus, Juruá, Javari e seus tributários. Chegava-se ao final da última glaciação, quando a temperatura e a umidade da

região se elevavam, enquanto o nível relativo do mar subia (Suguio, 1999). Conglomerados e brechas com intraclastos de argilitos, concreções carbonáticas, clastos de vertebrados e excrementos da megafauna representam uma discordância entre os sedimentos pleistocênicos tardios e holocênicos, em terrenos do Estado do Acre e do sudoeste do Amazonas, mas também do Peru e Bolívia (Campbell et al, 1985; Costa e Costa, 1988; Costa et al., 1989), mostrando a grande mudança no regime fluvial indicada acima. O Rio Solimões estabelecia-se como um grande rio, após receber as águas dos Rios Madeira, Purus, Juruá e Javari e despejá-las no Amazonas, pois não havia mais a barreira do Arco do Purus, conforme Latrubesse e Fanzinelli (2002), assoreando um antigo braço do Rio Negro e anexando a Ilha de Iranduba ao continente. Essa cicatriz é, ainda hoje, perfeitamente reconhecível no campo e em imagens aéreas, de radar e de satélite. Parece que o homem pré-histórico estabeleceu-se logo após a cicatrização, pelo menos em parte, como mostra a riqueza em sítios arqueológicos de ceramistas, com muita Terra Preta (Lima, 2001, Lima et al., 2002), embora com idades mais jovens entre 950 a 1.350 anos AP (Neves et al., 2004). Nesse estágio, a planície do grande vale estava praticamente formada, como mostra a maioria dos trabalhos (Mertes et al., 1996; Behling et al., 2001; Latrubesse e Franzinelli, 2002;), e o homem pré-histórico já fabricava a cerâmica e desenvolvia a agricultura.

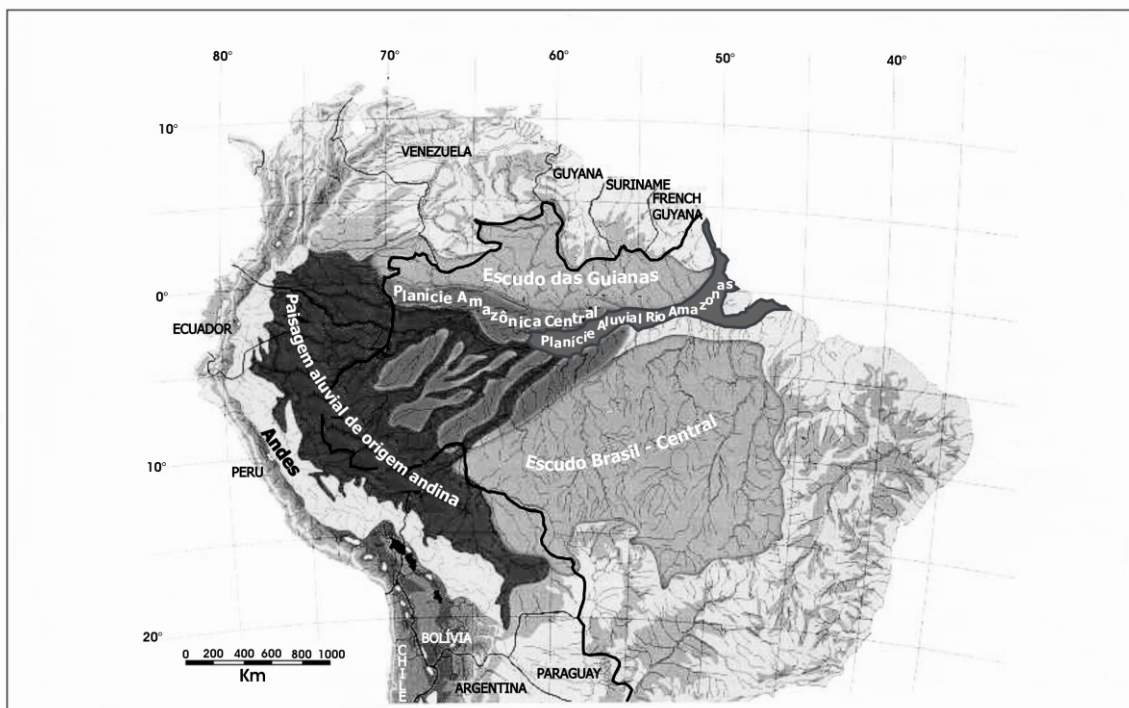


Fig. 4. Extensão da planície fluvial e flúvio-lacustre de alimentação sub-andina. Modificada de Goulding et al. (2003).

Ocupação Humana Pré-Histórica da Amazônia e a Influência da Cultura Andina

No início do Holoceno, a Amazônia ainda apresentava áreas com diferenças climáticas, pois era seca na área hoje equivalente ao leste do Estado do Acre, oeste de Rondônia, sudoeste do Estado do Amazonas e Bolívia e já era bastante úmida a noroeste, onde ocorria avanço da floresta. Aparentemente, as condições úmidas atuais começaram chegar nessa região há apenas 3 mil anos AP, haja vista os sedimentos lacustres do Lago Amapá, em forma de ferradura e situado próximo ao Rio Acre, em Rio Branco (AC), com idade máxima de 3.200 anos AP, exibirem sedimentação tipicamente rítmica, sugestiva de condições climáticas fortemente contrastadas, mas já com bastante água,

sedimentação com barras em pontal e expressiva biomassa. Condições de aridez extrema foram registradas em sedimentos do Holoceno entre 7.000 e 4.500 anos AP nos Rios Purus e Juruá no sudoeste do Estado do Amazonas, próximo à fronteira com os Estados do Acre e Rondônia (Latrubesse et al, 2005). Contudo, pluviosidade e volumes de águas fluviais e lacustres aumentaram consideravelmente a nordeste da planície aluvial, que avançou para sudoeste nos três últimos milênios, com o desenvolvimento de terras muito planas, baixas e insalubres. Esse cenário paleoclimático de aumento da pluviosidade e umidade para sudoeste, hoje a altura do Estado do Acre, pôde ser reconstituído a partir dos mapas de trajetórias dos sistemas atmosféricos (Sant'Anna Neto e Nery, 2005). Inúmeros leitos fluviais foram barrados por tectônica ou por assoreamento, com a formação de muitos lagos piscosos (vários deles gigantes) de água preta ou de água branca, antigos e jovens, respectivamente (Fig. 5). O homem pré-histórico, quando chegou a essa parte da Amazônia, encontrou ambiente mais adequado para viver na porção oriental do Acre e oeste de Rondônia, onde o clima era ameno, como mostra a grande frequência de sítios, e parece ter evitado as grandes planícies insalubres. Essa preferência pelas terras firmes, evitando as áreas de alagações periódicas e prolongadas, permanece até os dias de hoje. O homem pré-histórico introduziu mudanças expressivas na paisagem, por cerca de 300km de extensão, onde executou escavações geométricas e anfiteatros no terreno, alguns simples e outros de aparência complexa, como os geoglifos do Acre, já citados anteriormente (Fig. 6). As idades obtidas por radiocarbono em carvão forneceram 1.300 anos AD (comunicação verbal de Dirse Kern), enquanto peças cerâmicas da região forneceram 2.000 a 2.600 anos AP (Nicoli et al., 2001), ou mesmo 1.275 AD segundo datação por radiocarbono de amostras de carvão (Revista Época, 30 de outubro de 2006). Aparentemente essas peças cerâmicas não estão relacionadas aos geoglifos, tendo em vista que eles se apresentam muito pouco perturbados pela floresta, o que não seria de se esperar, se fossem tão antigos como as cerâmicas. O homem pré-histórico certamente já dominava a agricultura, pois ele estava instalado em terra firme, próximo à grande planície aluvial e certamente com clima ainda ameno. Aparentemente trouxe consigo o cultivo da castanheira-do-pará (*Bertholetia excelsa*), pois a área da ocupação humana coincide com a dos grandes castanhais dessa região (Costa et al, 2006) (Fig. 7). Além da propagação dos castanhais, a perturbação da floresta por humanos no pré-histórico tardio também é a provável causa da expansão das florestas de palmeiras de terra firme e da disseminação de áreas com vegetação de cerrado (Roosevelt, 2000).

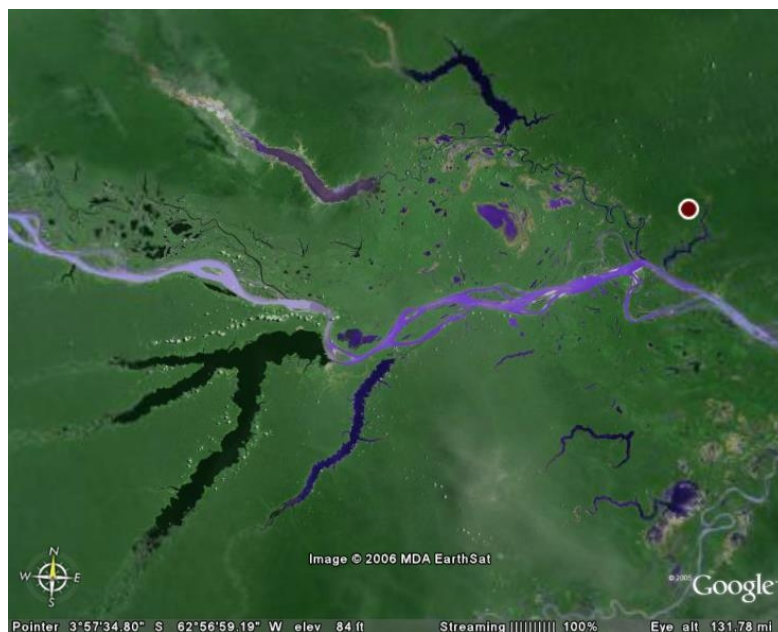


Fig. 5. Grandes lagos de água branca e de água preta formados por barramento natural de leitos fluviais, bem como lagos de planície aluvial, no centro da Amazônia, na grande planície aluvial do Rio Solimões, entre Manaus e Tefé. Imagem Google Earth

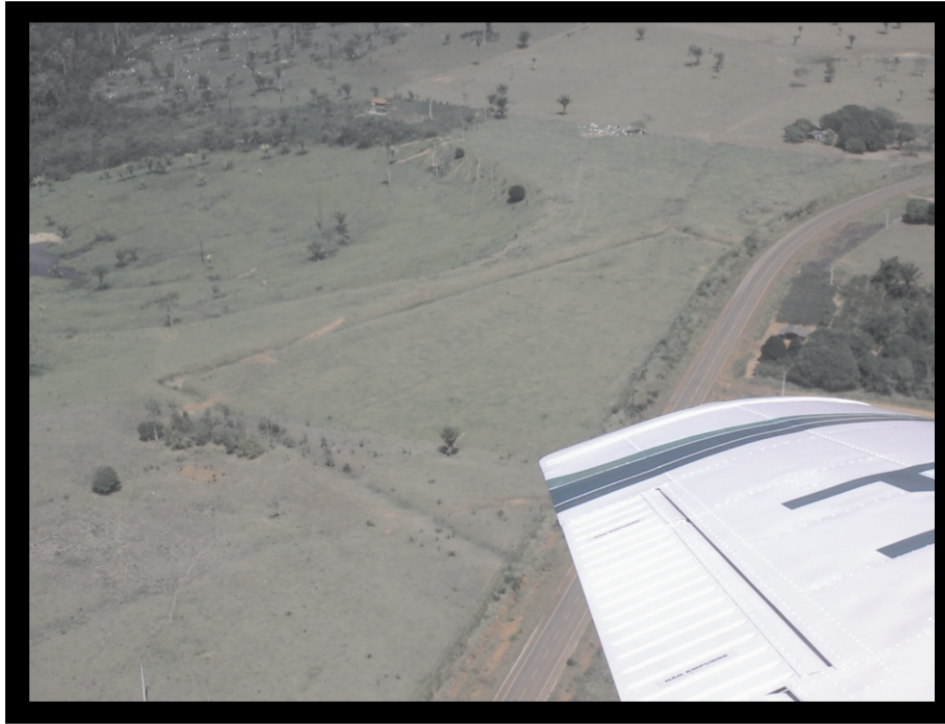


Fig. 6. Geoglifo representado por forma geométrica entalhada na terra, bem como um possível anfiteatro na encosta de altiplano. Fotografia aérea obtida por Marcondes Lima da Costa em 2004.

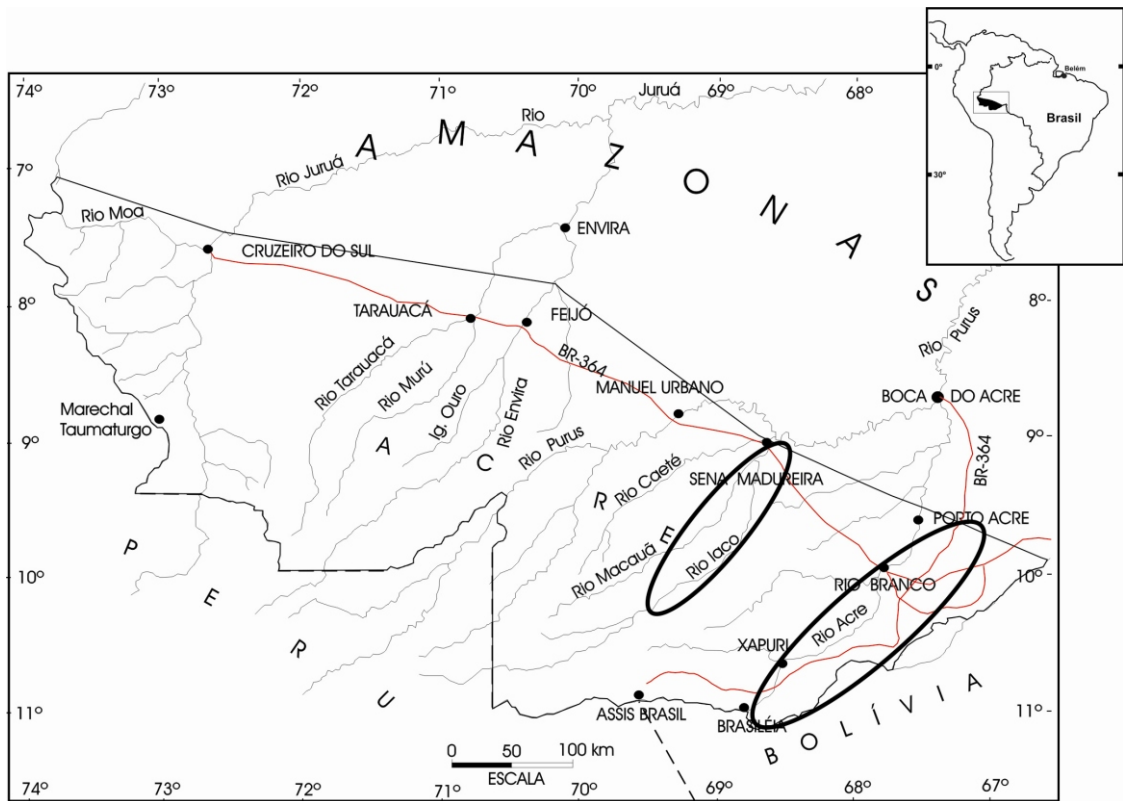


Fig. 7. Distribuição geográfica dos geoglifos na região oriental do Estado do Acre, dominada por castanheiras-do-pará. Adaptado de Ranzi e Aguiar (2004).

A Paisagem da Planície Aluvial do Grande Rio Solimões-Amazonas

Euclides da Cunha (Cunha, 1946), em sua viagem como chefe da Comissão de Reconhecimento das Nascentes do Rio Purus, para demarcação de fronteiras Brasil (Acre) e Peru, assim se referiu ao ambiente fluvial ao longo do Amazonas de então e ao seu povo, obviamente, não pré-histórico:

“Os mesmos rios ainda não se firmaram nos leitos; parecem tatear uma situação de equilíbrio derivando, divagantes, em meandros instáveis, contorcidos sem "sacados",... ou expandindo-se em "furos" que se anastomosam, reticulados e de todo incaracterísticos, sem que se saiba se tudo aquilo é bem uma bacia fluvial ou um mar profusamente retalhado de estreitos. É uma construção estupenda a que falta toda a decoração interior... A Amazônia é talvez a terra mais nova do mundo... Nasceu da última convulsão geogênica que sublevou os Andes..... A impressão dominante que tive...: o homem, ali, é ainda um intruso impertinente. Chegou sem ser esperado nem querido - quando a natureza ainda estava arrumando o seu mais vasto e luxuoso salão. E encontrou uma opulenta desordem”.

“Os mesmos rios ainda não se firmaram nos leitos; parecem tatear uma situação de equilíbrio derivando, divagantes, em meandros instáveis, contorcidos sem "sacados",... ou expandindo-se em "furos" que se anastomosam, reticulados e de todo incaracterísticos, sem que se saiba se tudo aquilo é bem uma bacia fluvial ou um mar profusamente retalhado de estreitos. É uma construção estupenda a que falta toda a decoração interior... A Amazônia é talvez a terra mais nova do mundo... Nasceu da última convulsão geogênica que sublevou os Andes..... A impressão dominante que tive...: o homem, ali, é ainda um intruso impertinente. Chegou sem ser esperado nem querido - quando a natureza ainda estava arrumando o seu mais vasto e luxuoso salão. E encontrou uma opulenta desordem”.

Configuração tectônica do Vale Amazônico

O padrão tectono-estrutural da região, hoje correspondente à grande calha do sistema aluvial do rio Solimões-Amazonas, apresenta um percurso grosso modo leste-oeste, com cerca de 4 mil quilômetros de extensão. Foi estabelecido no Paleoceno e Oligoceno (Terciário inferior) e atingiu sua configuração atual só no Terciário superior. Caracterizou-se inicialmente por domínio de falhas transcorrentes leste-oeste, na região correspondente à atual calha do grande Rio Amazonas, que atingiu os sedimentos mesozóicos da Bacia do Amazonas, bem como nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste nas regiões cratônicas (Bemerguy e Costa, 1991, Costa et al, 1995, 1996) (Fig. 8). O Arco do Purus já se encontrava inativo e coberto, mas as terras de Manaus e a leste dela estavam emersas e altas e constituíam uma área-fonte da pródiga sedimentação da Formação Solimões a oeste e sudoeste. O Rio Proto-Amazonas e sua bacia eram restritos, pequenos, encaixados e ocupavam as terras correspondentes, hoje no máximo, ao Baixo Amazonas e Marajó com suas fossas tectônicas que continham espessos pacotes sedimentares. Não houve sedimentação miocênica-pleistocênica nessa zona, como aquela do sudoeste da Amazônia, que foi tipicamente flúvio-lacustre (Bemerguy e Costa, 1991; Latrubesse e Franzinelli, 2002; Latrubesse et al. 2005), exceto na fossa tectônica do Marajó, na porção ocidental da ilha de mesmo nome. Este padrão estrutural permaneceu no Terciário superior, mas novas falhas transcorrentes leste-oeste e noroeste-sudeste se propagaram (Bemerguy e Costa, 1991). No Quaternário superior, falhas normais, de orientação noroeste-sudeste, além de nordeste-sudoeste, estabeleceram-se, em contraposição às transcorrentes leste-oeste da grande calha, e condicionaram o desenvolvimento e ampliação da bacia de drenagem do Proto-Amazonas. O contínuo soerguimento dos terrenos a oeste e sudoeste, com conseqüente assoreamento de partes baixas, e o aumento do volume d'água, devido às mudanças climáticas para condições úmidas no final do Pleistoceno, forçaram a inversão do padrão de drenagem, agora de oeste para leste. O divisor de águas, já fragilizado pela erosão, foi então rompido originando-se uma das mais espetaculares capturas de drenagem, e conectando-se finalmente os canais do Rio Solimões com o do Rio Amazonas. A altura de Manaus o Rio Negro parecia fluir nesta época para o sistema Proto-Solimões, tendo, até mesmo, o seu sentido de

fluxo temporariamente invertido, como mostra a cicatriz preservada em Iranduba, produto de barras do novo Solimões, forçando-lhe a abrir um profundo canal ao norte, seu leito atual em frente a Manaus. O Rio Amazonas, agora conectado ao Solimões, começa a ser alimentado com sedimentos de fonte andina, depositando-os distalmente no seu delta no Oceano Atlântico, hoje submerso pela subida relativa do nível do mar, quando o rio então era altamente competente.

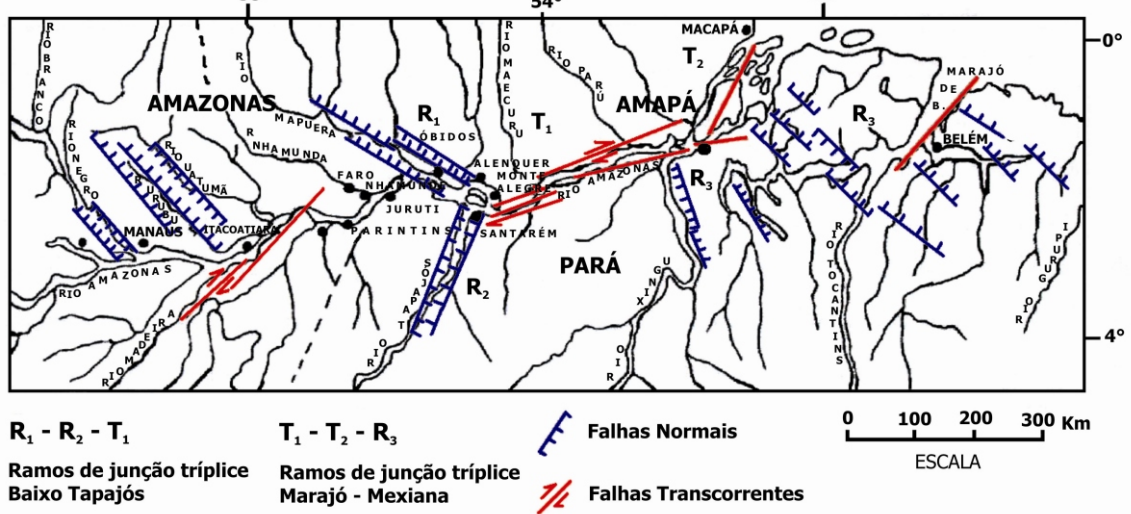


Fig. 8. Mapa estrutural do Quaternário da Amazônia ao longo do vale do Rio Amazonas, ressaltando o controle estrutural do seu canal (Costa *et al.*, 1995).

O Grande Vale Próximo à Chegada do Homem Pré-Histórico

Vivia-se a época do U.M.G. (Último Máximo Glacial) (Heine, 2000; Van der Hammen e Absy, 1994), entre 24 mil e 18 mil anos AP, quando o grande vale começava a se instalar no arcabouço tectônico supracitado. O nível do mar encontrava-se entre 120 m e 130 m abaixo do atual (Suguio e Sallun, 2004). As terras emersas, em geral, encontravam-se 80 a 90 m mais elevadas que as de hoje e, dessa forma, o Rio Amazonas estaria encaixado dentro de um *grande cânion*, esculpido em espessos sedimentos continentais mesozóicos da Bacia do Amazonas (Fig. 9). Seus afluentes, tanto das margens direita como esquerda em igual situação, estariam encachoeirados nos domínios dos crátons. As falhas normais que contornam seus baixos cursos, certamente correspondiam aos barrancos ou paredes de seus cânions. Falésias fantásticas podem ser vistas, ainda hoje, em várias partes do grande rio, como em Monte Alegre, Óbidos, Juruti e Manaus. Sobre elas destacam-se espessos mantos laterítico-bauxíticos e laterito-caulínicos formados ainda entre o Paleoceno e Eoceno. Medidas de profundidades do leito ativo atual do Rio Amazonas podem alcançar até 115 m, corroborando a presença do cânion escavado quando o nível do mar estava bem abaixo do atual. A sedimentação no vale do grande rio e seu entorno começou aparentemente a partir de 29.000 anos AP (no início do U.M.G.) como mostram depósitos de leques fluviais (Latrubesse et al. 2005), ou mesmo mais tarde entre 14 mil e 10 mil anos AP (Latrubesse e Franzinelli, 2002), quando da formação dos primeiros depósitos lacustres.

A Chegada do Homem Pré-Histórico ao Grande Vale

Nesse quadro tectônico do limiar Pleistoceno tardio - Holoceno, com o *cânion* ainda exposto, chegam os primeiros homens pré-históricos caçadores-coletores ao vale Solimões-Amazonas, como aconteceu na área de Monte Alegre (Roosevelt et al. 1996). Correspondia ao término da última glaciação, há 11.200 anos AP. Da Serra da Lua e dos Campos de Monte Alegre-Alenquer o homem pré-histórico, que vivia em cavernas e abrigos similares, tinha a visão de uma Amazônia bem distinta da atual, contemplando o grande vale delimitado por *cânion* (Fig. 9, 10 e 11). Para chegar ao rio era

necessário vencer serras e escarpas íngremes 300 m a 400 m de desnível. Vinha pescar, caçar e fazer uso da água, quando certamente se surpreendia com as mudanças na paisagem causadas pelo grande rio. Provavelmente não existiam praias para o lazer, e nem várzeas favoráveis à agricultura, que este homem desconhecia. Da mesma forma, não havia matéria-prima para cerâmica, que ele também iria conhecer mais tarde. Havia, no entanto, uma paisagem deslumbrante com vale profundo, largo e pouco vegetado, pois, embora ameno, o clima era seco.

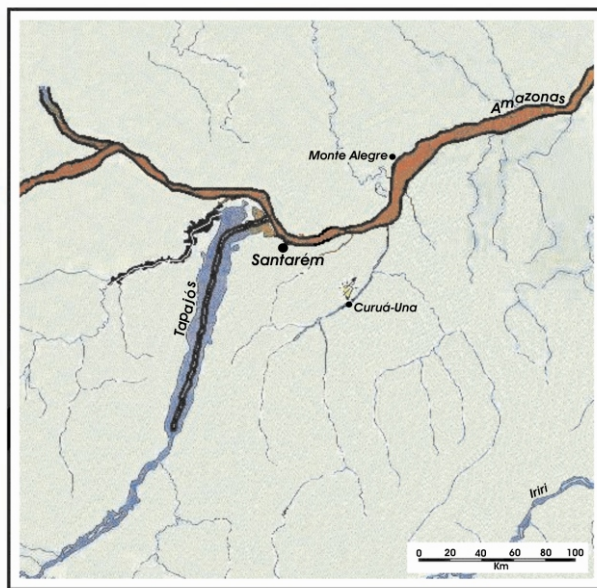


Fig. 9. Reconstituição do paleocanal do rio Amazonas, há cerca de 10 mil anos AP. A) Mapa mostrando o possível contorno do cânion do Amazonas há 10.000 anos AP, tendo como base o mapa de Goulding et al. (2003); B) Possível seção transversal ao canal do cânion do Rio Amazonas na mesma época.

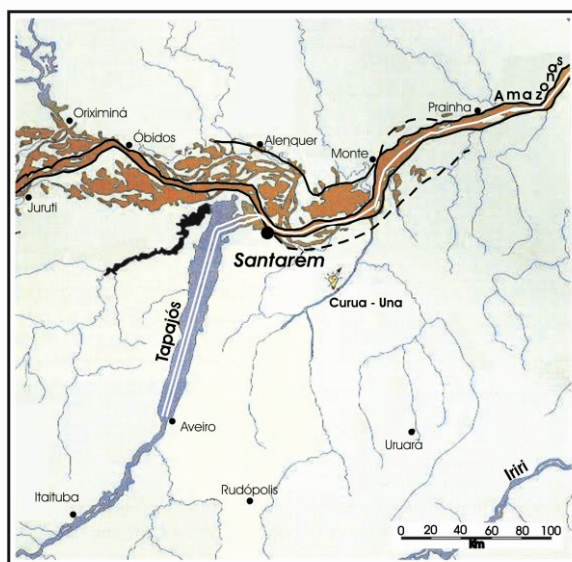


Fig. 10. Aspectos do vale do rio Amazonas entre Óbidos, Santarém, Monte Alegre e Alenquer. A) Esboço fisiográfico do vale do baixo Amazonas elaborado por Smith e publicado em seu livro (Smith, 1879), portanto há cerca de 130 anos atrás; B) Esse mesmo vale visto a partir de imagens de radar, disponíveis em www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/, 11/2006; C) Reconstituição do paleocanal do Rio Amazonas dentro de sua atual planície aluvial, com base no mapa de Goulding et al. (2003).



Fig. 11. Vista da planície amazônica atual a partir do alto de Monte Alegre (PA), região ocupada pelos primeiros povos pré-históricos. Certamente a presença do cânion descortinava uma vista bem distinta da atualmente existente na área. A) Imagem desenhada por J. Wells Champney para o livro de Smith (1879) descortinando uma vista da planície de inundação a partir da pequena Vila de Monte Alegre de outrora; B) Fotografia feita em 1983 de Monte Alegre por Marcondes L. Costa de cenário semelhante, a partir praticamente do mesmo sítio da pintura da figura A.

Subida do Nível do Mar e Afogamento do Grande Cânion

No raiar do Holoceno, terminada a última glaciação, o nível do mar já experimentara uma rápida subida (Suguio e Sallun, 2004), invadindo aceleradamente o grande cânion (Fig. 12), movimentos tectônicos afundavam a região do vale do Rio Solimões-Amazonas. A competência deste rio diminui, e suas cargas de tração, em suspensão, são depositadas em sua calha, aumentando o volume água, não somente pela subida relativa e contínua do nível do mar barrando suas correntezas, mas, principalmente, em função do novo clima que rapidamente torna-se quente e úmido, devido à Cordilheira dos Andes, que barra os vapores d'água provenientes do Oceano Atlântico. O volume de material em suspensão também aumenta, por conta do grande volume de água captada, que erode as margens ainda parcialmente nuas, pois a floresta ainda não substituíra os campos de savana. Os sedimentos da planície flúvio-lacustre do topo da Formação Solimões e de alimentação andina são ressuspensos. Estavam criadas as condições ideais para a formação de uma das maiores planícies (bacias) de inundação do mundo, com suas várzeas de altas produtividades vegetal e animal, que favoreceriam o desenvolvimento simultâneo da cultura humana aí estabelecida. Essa sedimentação fluvial teria começado no final do Pleistoceno e prosseguido durante o Holoceno (14 mil e 10 mil anos AP), conforme Latrubesse e Franzinelli (2002). Evidências de mudanças relativas do nível do mar estão distribuídas por toda a região da grande calha até o litoral. Neste, a construção dos manguezais teria sido iniciada por volta de 8 mil a 7 mil anos AP, o que comprova a rápida subida do nível do mar e sua estabilização em torno do atual.

Ao mesmo tempo, as águas fluviais e seus sedimentos transportavam consigo polens e sementes das mais diversas espécies vegetais em desenvolvimento na região sudoeste e oeste, bem como das encostas andinas, quiçá registros de povos subandinos. As gramíneas invadem e proliferam-se no vale amazônico. Teria, desse modo, chegado o milho na região?

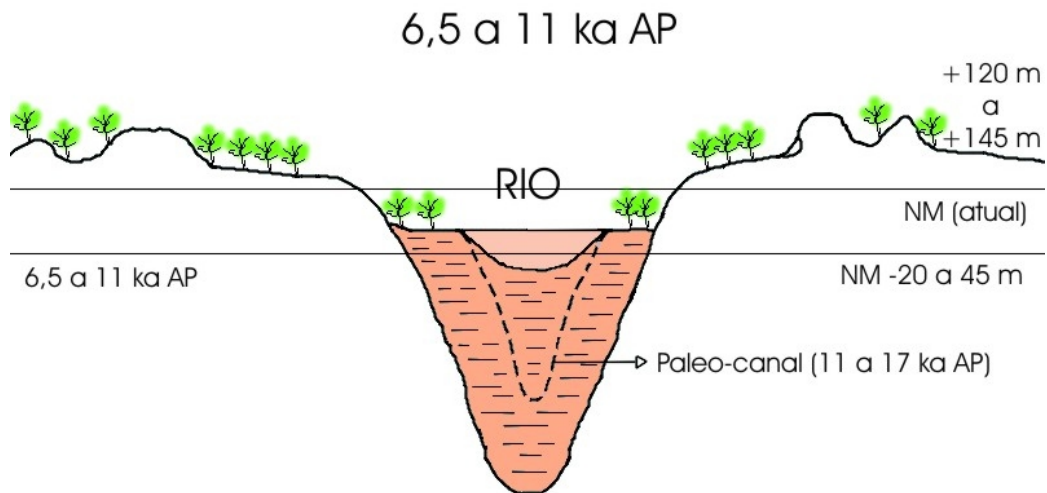


Fig. 12. Representação esquemática do vale amazônico no momento da chegada do homem pré-histórico à região, hoje correspondente a Santarém e Monte-Alegre (Estado do Pará).

O Avanço da Floresta

Durante o U.M.G., talvez a floresta pluvial estivesse representada por apenas cerca de três dezenas de refúgios (Haffer, 1969) circundados por savanas ou apenas por redução das áreas de floresta, pois faltam evidências paleoecológicas inofismáveis (Behling e Hooghiemstra, 1998). A temperatura atmosférica era em média 5 °C inferior a atual, conforme comprovada pela distribuição de populações de *Podocarpus* em toda a planície baixa da Amazônia (Behling, et al., 2001), com picos de períodos secos. Muitos nichos de savanas perduraram até hoje ao longo do grande vale como em Santarém, Monte Alegre, Alenquer e Marajó Oriental, com abundantes evidências de ocupação humana ainda na fase de caçadores-coletores. Nas terras mais altas, com crostas lateríticas, como por exemplo na Serra dos Carajás, condições edafoclimáticas e de altitude propiciaram a sua permanência até os dias atuais, onde também existem alguns sítios arqueológicos. A floresta pluvial tornou-se predominante na região amazônica somente no Holoceno médio (7 mil a 4 mil anos AP), inicialmente ocupando vales úmidos e depois avançando sobre as terras firmes mais elevadas (Kaempfe e Kern, 2005).

Formação pa planície de inundação

A atual várzea ou planície de inundação do vale do Rio Solimões-Amazonas é formada por sistemas de lagos (Fig. 13) de vários tamanhos, formatos e naturezas limnológicas, que dependem do tempo de formação, das mudanças hidrodinâmicas, das oscilações do nível do mar e das mudanças paleoclimáticas durante o Holoceno. Existem cerca de 6.500 lagos somente nas calhas e/ou nas proximidades (Sippel et al., 1992). São lagos de planícies de inundação; de barragem por bancos alongados de areia (antigos paranás); rios barrados na desembocadura pelo Rio Solimões-Amazonas ou com estruturas neotectônicas em toda a calha como em Caxiuanã (Costa et al., 1997 e 2002); desembocadura do Xingu, do Tapajós, Trombetas-Nhamundá, Negro, Preto da Eva, Tefê etc. Os sítios arqueológicos com ocupação ceramista e muita Terra Preta, indicadores de grande produção de alimentos (coleta, caça, pesca e agricultura), são muito comuns nas margens desses lagos.

A formação dos lagos do grande vale parece ter sido iniciada há quase 11 mil anos AP, embora a maioria dos dados concentre-se nos últimos 8 mil anos, segundo os estudos palinológicos, sedimentológicos e de datações por radiocarbono de sedimentos lacustres dessa região. Antes predominavam as gramíneas, que sobrevivem aos estresses hídricos. Por exemplo os lagos Coari e Acará, na planície de inundação do Solimões, (Horbe et al., 2005), deram idades máximas,

respectivamente de 10.630 e 9.776 anos AP (comunicação oral de Adriana Maria Coimbra Horbe, XCBGq, Recife, 2/11/2005); os sedimentos do Lago Calado que foram datados em 8.280 anos AP (Behling et al. 2001) e os da Baía de Caxiuanã no Baixo Amazonas, que foi datado em 7.030 e 5.970 anos AP. (Behling e Costa, 2000). Muito desses lagos ainda são ativos, e a maioria é jovem, exhibe água barrenta e são invadidos temporariamente pelo grande rio, em suas enchentes anuais.

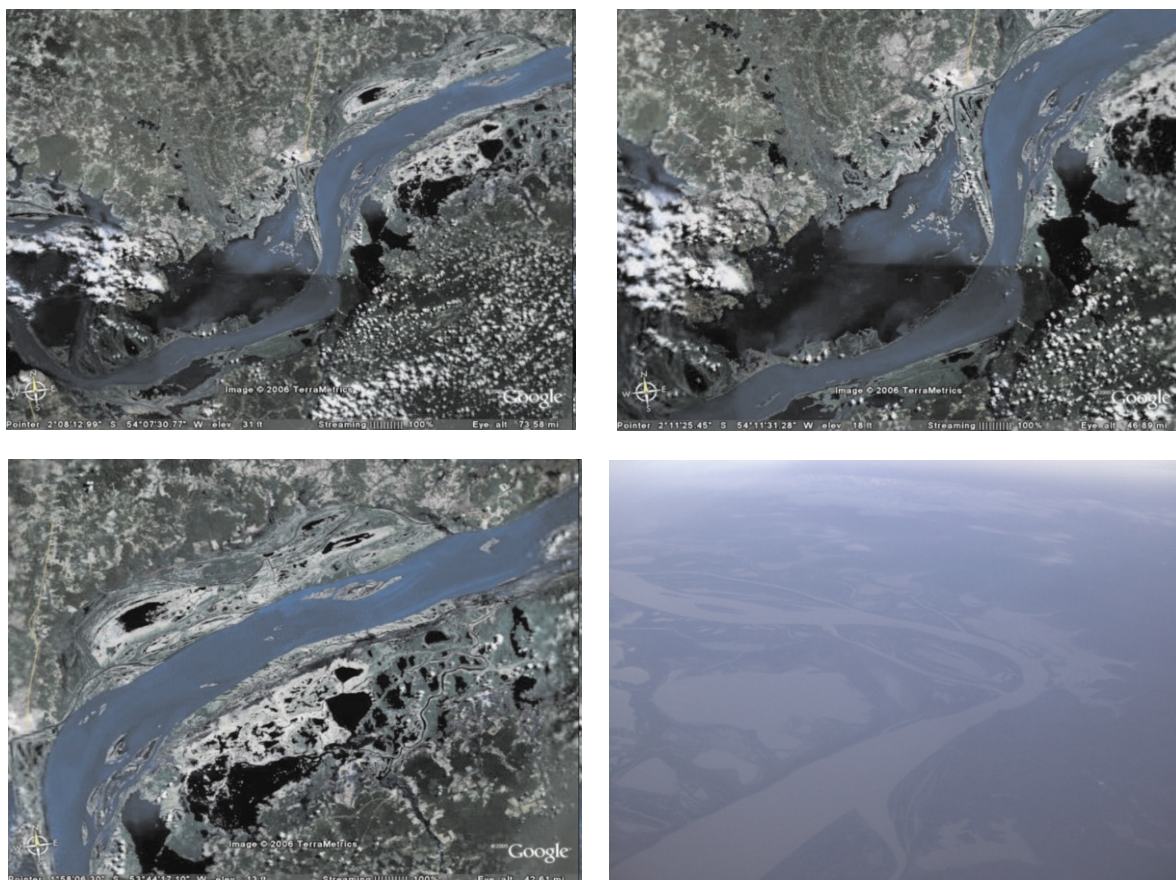


Fig. 13. Diferentes formas assumidas pelos grandes lagos da planície de inundação (aluvial) do baixo Rio Amazonas, entre Santarém e Monte Alegre (PA). A) Alto de Monte Alegre e o leito do Rio Amazonas e sua extensa planície com destaque para seus grandes lagos; B) Detalhe do Grande Lago de Monte Alegre; C) Detalhe da grande planície de inundação e as diferentes formas de lagos, além das suturas com as terras firmes. Imagens do Google Earth, 2006. D) A grande planície aluvial e o leito do Rio Amazonas próximo a Santarém, segundo fotografia aérea de Marcondes Lima da Costa.

Outras evidências da subida do nível relativo do mar e sua influência durante a instalação das planícies são os sambaquis de povos ceramistas (Suguio et al., 2005), principalmente do médio e baixo Rio Amazonas. Os povos que deixaram tal legado mantiveram-se autossustentáveis durante 4 mil anos, aparentemente até a horticultura e a cultura de mandioca tornaram-se suficientemente produtivas.

A partir do Ótimo Climático ou Idade Hipsitérmica do Holoceno (Seda, 2001; Kaempf e Kern, 2005) o Rio Solimões-Amazonas torna-se um grande caudal, que assumiu as dimensões atuais a partir de 2.080 anos AP.

Homem Ceramista, a Agricultura e as Terras Pretas

Coincidente com o Ótimo Climático (ou Idade Hipsitérmica) claramente identificado no Hemifério Norte, mas ainda não caracterizado na Amazônia, ocorreram inundações de várzeas e formação de igapós e pântanos (Behling et al., 1999) no grande vale. Os dados arqueológicos mostram explosão da atividade ceramista e intensificação da horticultura no vale amazônico, entre 4 mil e 3 mil anos AP (Roosevelt et al. 1996). Os primeiros ceramistas certamente já usavam sedimentos depositados nas várzeas. A partir dessa época, a Amazônia experimentou grande explosão demográfica, favorecida pelo incremento da disponibilidade de terras férteis de várzea.

O estabelecimento da mata ao longo do vale, também ocorreu subseqüentemente ao assoreamento da calha. Enquanto a floresta pluvial já passava a dominar a terra firme sobrepujando as savanas, a mata ciliar só veio a se estabelecer no Holoceno tardio, por volta de 2.500 anos AP. Às margens do grande vale, principalmente do Amazonas, em suas porções de terra firme, os sítios de Terra Preta são numerosos e grandes (Kaempfe e Kern, 2005), sendo a região Amazônica, talvez, a mais pródiga em Terra Preta (Fig. 1). As idades desses sítios de Terra Preta também são inferiores a 3.000 anos AP (Neves et al. 2003; Seda, 2001; Kaempfe e Kern, 2005) e comumente não chegam a 2.000 anos AP. Para Roosevelt (Kaempfe e Kern, 2005), as Terras Pretas seriam atribuídas aos povos coletores e horticultores, que viveram 1.000 anos antes da fase dos cultivos agrícolas intensivos, coincidindo com a instalação da grande planície de inundação muito rica em biomassa vegetal. Para isso foi decisiva a captura do Rio Solimões, que passou a carrear sedimentos subandinos para a fertilização da planície. Clima quente e úmido, biomassa vegetal muito rica, desenvolvimento da agricultura e sedentarismo das populações propiciaram a formação de TP a partir desse período (Neves et al. 2003; Kaempfe e Kern, 2005).

De Planície de Inundação à Bacia de Inundação: Decadência Populacional(?)

Nos últimos 2 mil anos AP, o grande vale começa a sofrer mundaças no regime fluvial em decorrência da ligeira subida do nível relativo do mar ou por subsidência do grande vale, acompanhada pelo aumento da umidade e da pujança da mata, especialmente a partir dos últimos séculos, quando o ambiente tornou-se mais hostil e inadequado para agricultura em geral, pois, essas áreas, começaram a ficar inundadas por longo tempo. Nessa época, o sistema fluvial passou a ser predominantemente anastomosado e complexo, como descreveu Euclides da Cunha em sua viagem de 1904 (Cunha, 1946), com a planície de inundação transformando-se em verdadeira bacia de inundação, ainda hoje testemunhada por grandes lagos conforme Latrubesse e Franzinelli (2002); principalmente na área do baixo curso do Rio Solimões, na zona de transição deste para o Rio Amazonas. Grandes inundações sempre causaram enormes prejuízos às populações ribeirinhas pela destruição de suas moradias, campos de agricultura etc. desde os tempos pré-históricos. A própria Bíblia faz referências a inundações e seu impacto destrutivo há mais de 2 mil anos no Oriente Médio.

Nas terras emersas e firmes, a mata pluvial avançava rapidamente sobre as terras agrícolas. O homem pré-histórico conhecia a cerâmica, mas como desconhecia a metalurgia, ainda não dispunha de meios tecnológicos para vencer o avanço da mata. A provável diminuição da produção de cerâmica e Terra Preta sugere o fato acima. Segundo A.C. Roosevelt (apud Kaempfe e Kern, 2005), a chegada do colonizador com grande superioridade tecnológica, novos costumes, novos microrganismos, plantas e animais, outras doenças e alto poder beligerante, há cerca de 500 anos, causou grandes baixas e até o extermínio.

A Paisagem Litorânea

Compartimentação

Ela está representada nas costas do Amapá, do Pará e do Maranhão, que se estende por cerca de 1.500km (Fig. 14), constitui importante berçário de vida aquática (principalmente peixes, moluscos, crustáceos e outros animais). Além disso, a faixa litorânea foi também o sítio de assentamento do homem pré-histórico nos primórdios de sua chegada às Américas.



Fig. 14. A região costeira do Amapá ao Maranhão, com distinção de compartimentos com influência (Imagem A: norte-noroeste: Amapá) e sem influência (imagens C e D: sudeste: Pará e Maranhão) do Rio Amazonas. Imagem disponível em Google Earth. Modificada.

Costa amapaense

Os dados geológicos disponíveis mostram que durante o U.M.G. (Último Máximo Glacial) o Rio Amazonas despejava expressiva carga sedimentar em suspensão em seu delta, que hoje está submerso (80 a 100 m) no Oceano Atlântico. A subida do nível relativo do mar e as correntes marinhas fizeram com que, parte dos sedimentos em suspensão do Rio Solimões-Amazonas que chegavam até o oceano, fossem depositados na Costa Amapaense. Essa carga avançava inicialmente sobre os sedimentos lateritizados da Formação Barreiras, por conta da subida do nível do mar, cuja estabilização deve ter ocorrido há 2 mil anos AP (Behling e Costa, 1997; Behling et al., 2001). Daí começou a progradar mar adentro na forma de planícies de lama e silte, que foram invadidas por manguezais. A presença de tesos e diques, entre outras construções, sugere que o homem construía obras civis para conter o avanço do mar. Ele sentia assim, na própria pele, os efeitos das inundações ingovernáveis e destruidoras. Mapa fisiográfico elaborado pelo governo da Guiana Francesa, para terras hoje correspondentes ao Estado do Amapá de mais de um século atrás (a cópia autorizada é de 22.2.1894), mostra linha costeira para dentro da atual área continental (comunicação verbal da profa. Dra. Odete Silveira, UFPA). O homem pré-histórico, pescadorceramista, utilizou os sedimentos férteis (que aqui começaram a chegar desde que o Rio Solimões foi capturado pelo Rio Amazonas) para a agricultura e as águas salobras favoráveis à vida de moluscos e peixes (mariscos e pescados). Também empregou os solos vizinhos situados em terras firmes, como mostram os inúmeros sítios arqueológicos situados neles, alguns representando cultura avançada, embora fossem solos de baixa fertilidade.

A Ilha de Marajó

No arquipélago formado pela Ilha de Marajó e outras ilhas vizinhas, observa-se um quadro geológico bastante distinto daquele da Costa do Amapá, principalmente na Ilha de Marajó. O desenho resultou da combinação de dois eventos: 1) a separação do continente ao norte ao abrir-se o canal do Rio Amazonas por conta das reativações neotectônicas, ao tempo da formação do seu *cânion*, portanto ainda no Pleistoceno. Isto é demonstrado pelas águas ainda profundas do canal norte, cuja carga sedimentar em suspensão continua sendo depositada na margem esquerda, no Estado do Amapá, e também na costa deste Estado, em consequência da corrente equatorial de sudeste; 2) separação ao sul e a oeste do continente, ocorrida apenas no Holoceno, sem desenvolvimento de vale profundo e a presença de sedimentos delgados do Holoceno ao Recente (inúmeras ilhas). Localmente estreitos e longos furos, podem ser mais profundos, e sugerem origem tectônica do Pleistoceno.

Na área voltada para o Rio Amazonas o homem pré-histórico assiste à formação de novas ilhas fluviais que são ocupadas pela mata. Como são ilhas formadas de sedimentos férteis, os mesmos foram utilizados para a agricultura e ainda como matéria-prima (argila) para atividade ceramista. As técnicas de produção cerâmica eram mais aprimoradas, exemplificadas pelos belos artefatos cerâmicos da Cultura Marajoara, que ocupou a zona oriental da ilha. Os solos de terra firme eram pobres, pois são desenvolvidos sobre os sedimentos lateritizados da Formação Barreiras ou sedimentos flúvio-lacustres mais recentes. A subida relativa do nível do mar com a formação de manchas de manguezais, em parte sobre barras arenosas, criou condições ambientais adequadas para a maior abundância de moluscos e peixes, além de palmeiras produtoras de frutos comestíveis como açai (*Euterpe oleracea*) e buriti (*Mauritia flexuosa*), entre outras. Da mesma forma que na Costa do Amapá, aqui também foram realizadas obras civis para conter o avanço do mar.

Na Ilha de Marajó distinguem-se duas importantes zonas bioclimáticas: a oriental fortemente influenciada pelo Oceano Atlântico e a ocidental nitidamente continental. A zona oriental apresenta terras de baixa altitude, cobertas por savanas e campos parcialmente inundados pelas águas fluviais, pluviais e mesmo marinhas. No verão é muito seca, com forte déficit de água e tendência à salinização. A zona ocidental, por sua vez, é ligeiramente mais elevada, não sofre de déficit pluviométrico e nem é afetada pelas águas marinhas, sendo coberta por floresta tropical densa. Do ponto de vista geológico esta zona corresponde à fossa do Marajó, um rifte abortado, preenchido por 11 mil metros de

sedimentos mesozóicos e cenozóicos (Mohriak, 2003). No entanto, os principais registros de ocupação humana pré-histórica estão concentrados na zona oriental, que ressalta o clima seco como mais adequado para ocupação. Porém poderia se pensar que as grandes áreas de savana e de campo de gramíneas possam representar mudanças ambientais introduzidas pelo homem pré-histórico, decorrentes do uso intensivo das terras orientais, que exauridas não supriam mais as necessidades da população, que se extinguiu antes mesmo do contato com o colonizador europeu, como mostra o desaparecimento dos povos marajoaras.

O Litoral Paraense e Maranhense

No litoral brasileiro, encontra-se uma das maiores ocorrências de manguezais do mundo, os quais estão situados principalmente no litoral nordeste do Pará e noroeste do Maranhão e que fazem parte da terceira zona da paisagem litorânea da Amazônia Brasileira. Ela é constituída por terrenos holocênicos com manguezais e grandes cordões de areia, além de campos de dunas isolados. O contorno desta linha de costa tem a forma típica de rias, que sugere fase transgressiva no Recente ou então influência tectônica. O homem chegou a esta zona litorânea praticamente no início do novo período interglacial, por volta de 10 mil anos AP, como indica o aumento das partículas de carvão encontradas nos sedimentos da Lagoa Curuçá (Behling, 1996). Isso sugere provável início ao uso do fogo pelo homem pré-histórico. Queimadas podem ter sido a fonte dos carvões encontrados nos sedimentos, o que indica que pequenas transformações ecológicas já ocorreriam nesta paisagem. Pesquisas palinológicas no lago Crispim indicaram que os manguezais já estavam instalados há 7.650 anos AP e recobriam área de floresta tropical, em clara evidência de que o mar avançava sobre o continente (Behling e Costa, 2001). O homem pré-histórico vivenciava essas rápidas transformações geológicas da paisagem costeira. As terras mais baixas da paisagem formada por morros esculpidos sobre os sedimentos da Formação Barreiras e rochas cristalinas proterozóicas foram invadidas pelo mar com desenvolvimento de amplas planícies e pântanos fluviais e de marés, com depósitos de manguezais, cordões de areias e dunas e a formação de ilhas. A abundância de sítios arqueológicos ricos em cerâmicas e ossadas humanas (Simões, 1981; Correa, 1987), além de tesos e sambaquis, que atingem vários metros de altura, indicam não somente ampla ocupação humana, como também a subida relativa do nível do mar. Neste ínterim, o homem pré-histórico ocupava-se certamente em defender-se dos avanços do mar, porém fazia uso de sua riqueza em moluscos e peixes. Nos dias atuais não somente esta zona como aquela costeira da Ilha de Marajó e do Estado do Amapá experimenta uma ligeira estabilização do nível do mar e/ou de movimentação tectônica. Há evidências de horticulturas (Correa, 1987), embora o desenvolvimento de agricultura tenha sido inibido pelos solos pobres, dominados por Latossolos e Podzols, e os manguezais também não se prestavam para os cultivos conhecidos. O homem pré-histórico nesta zona era sedentário, pois desenvolvia cultura cerâmica, embora pouco elaborada. Tesos e outras expressões elevadas têm sido encontrados dentro das áreas de manguezais, com Terra Preta e cerâmica (Fig. 15). Fragmentos de cerâmicas dessa zona apresentaram os conteúdos mais elevados de fosfato, como os fosfatos de alumínio do grupo da crandallita-goyazita, que indicam vasos cerâmicos utilitários empregados para o cozimento de moluscos e peixes, que são normalmente ricos em fósforo, ou seja uma dieta mais rica em carne do que em vegetal.



Fig. 15. Terra Preta de Índio no centro da cidade de Quatipuru (PA) (região litorânea), situada às margens do rio de mesmo nome, atualmente sob forte impacto da erosão flúvio-marinha. A praça pública (coreto) (imagem a) foi construída sobre amplo sítio de terra preta (imagem b), que apresenta inúmeros fragmentos cerâmicos (imagem c), em que um deles ao ser escavado mostrou tratar-se de um vaso cerâmico intacto (imagem d). Imagens (a), (b) e (c) são de Dr. William Woods e a imagem (d) de Marcondes Lima da Costa.

Conclusões

O homem pré-histórico, ao chegar na Amazônia, encontrou uma região rica em diversidade de paisagens, que experimentavam profundas transformações em decorrência das novas imposições do clima quente e úmido, e como consequência, do avanço da floresta e da intensificação da rede de drenagem coletando as águas pluviais que chegavam em grande profusão. O homem pré-histórico chegava, não como um intruso como descrevera Euclides da Cunha, mas, certamente, como alguém que numa casa desconhecida precisa adaptar-se a ela ou arrumá-la quando possível. Ele não conseguiu domá-la, exceto localmente, pois não tendo desenvolvido a tecnologia do metal ou outra capaz de superar as forças, teve dificuldades em vencer os grandes obstáculos naturais.

Os dados arqueológicos, geológicos, sedimentológicos e paleoclimáticos da região da calha do Rio Solimões-Amazonas mostram um desenvolvimento contemporâneo entre a instalação e as transformações do vale, desde o *cânion* à grande planície e a bacia de inundação com as transformações humanas de caçadores-coletores, para ceramistas, cermistas-horticultores e formação de Terra Preta. Este homem pré-histórico acompanhou a formação do grande vale, mas, aparentemente, pouco pôde fazer para mais tarde se defender de suas forças colossais erosivas, que se sucederam por franca sedimentação flúvio-lacustre. Tudo isto era uma resposta às movimentações neotectônicas, às condições climáticas que se tornaram cada vez mais úmidas e ao consequente avanço da floresta sobre os campos e à subida e oscilações do nível relativo do mar nos últimos 11 mil a 12 mil anos AP.

O homem pré-histórico da Amazônia tinha nos Andes uma cadeia de montanha continental, quase intransponível, restrita a outros povos, com quem aparentemente pouco intercâmbio manteve. Ao chegarem aqui, encontram o Rio Solimões-Amazonas já como grande canal, quase leste-oeste. No entanto, o seu vale era ainda profundo, provavelmente estava cerca de 100 m abaixo do atual nível. Os terrenos situados a sudoeste da Amazônia, ou seja, a nordeste dos Andes, que constituíam a grande planície aluvial afunilada para o Solimões, ele os evitou, por sua natureza ainda formativa e agressiva. Mas ocupou suas bordas e terras altas voltadas para os Andes.

Nas regiões dos escudos (cráton do Amazonas) e naquelas correspondentes às rochas sedimentares aflorantes das bacias paleozóicas e mesozóicas, encontrou uma extensa paisagem de planalto, com serras e platôs íngremes, desprovidos de água e rarefeitos em alimentos, cobertos de solos pobres, exceto nas áreas mais baixas, nos interflúvios, onde se expunham saprolitos, sedimentos colúviais e aluviais e rochas sãs. Essas terras lhes foram mais adequadas para viver, porque dispunham de água e solos mais adequados, que possibilitavam a maior disponibilidade de alimentos, favorecendo as vidas vegetal e animal. Era também mais adequada para a agricultura. As demais áreas secas e mais elevadas estavam cobertas por savanas e gramíneas. Assim o homem pré-histórico vagava entre as zonas de transição savana-floresta à procura de caça e frutos. A abundância de solos pobres combinada com o pouco desenvolvimento do homem pré-histórico não contribuiu para sua evolução. Enquanto se caminhava para os tempos modernos, a floresta avançava sobre as áreas de savana, as águas ocupavam mais espaços, a umidade do ar aumentava e as áreas de savana diminuía, trazendo mais dificuldades para o homem. Por esse motivo, ele movia-se ainda mais para os barrancos dos rios que formavam vales cada vez maiores e para o litoral, onde dispunha de condições mais adequadas ao seu desenvolvimento. Decorriam os primeiros 4 mil a 5 mil anos do Holoceno.

O homem pré-histórico da calha do grande rio, inicialmente caçador e pescador, assistia às mudanças no regime das águas, cada vez mais abundantes, com sedimentação crescente que avançava sobre o vale, em decorrência da subida, inicialmente muito rápida e depois gradual do nível relativo do mar, que mais tarde estabilizou-se com pequenas oscilações. O grande volume de águas pluviais, depois de saturar os terrenos secos da antiga savana, teve que fluir superficialmente, desenvolvendo denso padrão de drenagem, que propiciado pelo relevo ligeiramente inclinado de norte, de sul e oeste para o centro e deste, para a grande calha do Rio Solimões-Amazonas, já fluía para o Oceano Atlântico. Entre 7 mil e 5 mil anos AP. A grande calha teria sido assoreada em decorrência da imensa carga de sedimentos fornecida pelos afluentes da grande planície aluvial andina. Ao mesmo tempo, o Rio Solimões-Amazonas começa a barrar os seus afluentes e transformá-los parcialmente em lagos e baías; da mesma forma, mesmo que em parte, comportam-se estes afluentes. O verde da mata invade as terras aluviais. O homem desce para o grande vale, para ocupar as novas terras e se estabelece em suas margens, desenvolve a agricultura de várzea e o fabrico da cerâmica. Por volta de 3 mil a 2 mil anos AP, as condições tornam-se ótimas para a vida no grande vale, e a população humana atinge possivelmente o seu apogeu, em decorrência do crescimento da horticultura e a da produção cerâmica. É desta época a maioria dos sítios arqueológicos com Terra Preta e cerâmica. Os solos das várzeas eram férteis, pois eram anualmente fertilizados pelos rios de água branca. No entanto, a partir de 2 mil anos AP o nível relativo do mar parece ter experimentado ligeira subida, o grande Rio Solimões-Amazonas espraia-se e alaga os vales, criando um número maior de lagos, barrando pequenos rios, que são palco de intensa deposição de sedimentos, causada pela perda de competência de suas águas. As inundações tomam conta do cenário.

Essa nova fase evolutiva da paisagem, ao longo do grande vale do Rio Solimões-Amazonas, trouxe muitos transtornos às populações, que eram essencialmente ribeirinhas. As várzeas empregadas amplamente para a atividade agrícola são cobertas pelas águas por longo período. É chegado o tempo das grandes inundações. A floresta continua a invasão das terras emersas ocupando cada vez mais os campos abertos, diminuindo as áreas mais adequadas para a habitação e agricultura.

O estabelecimento de vasta paisagem aluvial, concomitante ao desenvolvimento da horticultura pelo homem pré-histórico da região, permitiu o aumento da densidade populacional, indicada pelos diversos sítios com Terra Preta próximos às várzeas, que, no entanto, sofreu outra forte redução após o

contato a partir de 1.500 ou 1.600 anos AD com os exploradores europeus (Roosevelt, 1991; Whitehead, 1994; Kaempfe e Kern, 2005), desde a região costeira até ao longo do grande vale aluvial do Rio Solimões-Amazonas. São hoje os colonizadores e seus sucessores, o homem histórico, os novos atores a infligirem mudanças nas paisagens amazônicas.

Entretanto, A prática exposta acima não perdeu o seu elo, pois nos Rios Juruá, Purus e ainda no Rio Madeira, para permanecer apenas em território brasileiro, instalados sobre a grande planície aluvial de alimentação andina, principalmente em seus cursos superiores, as praias (barras em pontal) siltico-arenosas são empregadas pelo homem ribeirinho, o sucessor do homem pré-histórico, para complementar as necessidades agrícolas desenvolvidas em terra firme. Aqui as inundações são anuais, não duram por longo tempo e renovam a fertilidade das praias e várzeas.

Agradecimentos

Ao CNPq pelos apoios financeiros através dos auxílios a projetos de pesquisas e bolsa de produtividade em pesquisa.

Registros Palinológicos das Mudanças Climáticas na Amazônia Brasileira Durante o Neógeno

Maria Lúcia Absy
Silane Aparecida Ferreira da Silva

Atualmente, estudos relacionados às mudanças climáticas têm recebido grande atenção devido ao aquecimento global provocado pelo aumento nas concentrações de CO₂ resultantes, principalmente, de atividade humana. Isso tem gerado uma ampla discussão mundial, além de políticas que visem à diminuição de emissões de CO₂ para as próximas décadas. Alguns modelos climáticos sugerem drásticas modificações na terra, ocasionadas pelo aquecimento global, principalmente mudanças em ecossistemas importantes como a Amazônia. Previsões desses modelos sugerem que a maior floresta tropical do mundo estará com seus dias contados se a temperatura global permanecer aumentando em taxas iguais às observadas atualmente (Cox et al., 2000).

Mudanças climáticas ocorreram de forma cíclica durante o passado do planeta, sendo as do Pleistoceno e Holoceno as mais conhecidas e discutidas. Nesse período, importantes eventos ocorreram no clima e na biota amazônica. De acordo com Adams et al., (1990), as alternâncias entre as fases glaciais e interglaciais nas zonas continentais tropicais foram acompanhadas por mudanças profundas no tipo de vegetação e biomassa, causando extinção, diferenciação e mudanças na distribuição geográfica de plantas e animais.

Mudanças Climáticas Ocorridas durante Pleistoceno e Holoceno e a Teoria dos Refúgios

O Pleistoceno (que vai de cerca de 1.8 milhões a 10 mil anos atrás) iniciou com mudanças climáticas globais. Durante as glaciações, além da queda na temperatura, ocorreu um rebaixamento do nível do mar de cerca de 100 metros durante as fases de expansão glacial relativas às fases interglaciais. Oscilações entre climas mais quentes e mais frios também ocorreram, correspondendo com os ciclos de alternância das fases glaciais e interglaciais (Absy, 2000). A última fase interglacial ocorreu há cerca de 120,000 anos Antes do Presente (A. P) e foi seguida por uma fase glacial de intensidades variáveis que terminou há 10 mil anos A. P, quando iniciou a atual fase interglacial e a mais recente época do Quaternário, o Holoceno (Fig. 1).

Fanerozóico

| Cenozóica ⁺ | | Paleozóica ⁺ | |
|------------------------|----------------|--------------------------|------------------|
| Neógeno [#] | | Permiano [#] | 299± 0,8 Ma |
| Holoceno | 11,5 ± 0 ka | Carbonífero [#] | 359,2 ± 2,5 Ma |
| Pleistoceno | 1,8 ± 0 Ma | Devoniano [#] | 416 ± 2,8 Ma |
| Plioceno | 5,3 ± 0 Ma | Siluriano [#] | 443,7 ± 1,5 Ma |
| Mioceno | 23,03 ± 0 Ma | Ordoviciano [#] | 488,3 ± 1,7 Ma |
| Paleogeno [#] | | Cambriano [#] | 542 ± 1,0 Ma |
| Oligoceno | 33,9 ± 0,1 Ma | Proterozóico* | 2,5 Ga-542 Ma |
| Eoceno | 55,8 ± 0,2 Ma | Arqueano* | ~3,85-2,5 Ga |
| Paleoceno | 65,5 ± 0,3 Ma | Hadeano* | 4,6(?) ~ 3,85 Ga |
| Mesozóica ⁺ | | | |
| Cretáceo [#] | 145,5 ± 4,0 Ma | | |
| Jurássico [#] | 199,6 ± 0,6 Ma | | |
| Triássico [#] | 251± 0,4 Ma | | |

Fig. 1. Escala de tempo Geológico. (1 Ga=10⁹ (um bilhão), 1 Ma=10⁶ (um milhão), 1ka=10³ (um milhar de anos)). *Eon + Era # Período, sem símbolos- Épocas. Extraído de: Winge, M. *et. al.* 2001.

A teoria dos refúgios postulada por Haffer (1969) afirma que, em certos períodos secos do Pleistoceno, a Floresta Amazônica ficou reduzida a áreas isoladas ou refúgios, onde espécies de animais e plantas sobreviveram sob drásticas condições climáticas. As pesquisas desenvolvidas por Haffer (1969) e por Vanzolini (1970, 1973) foram baseadas, respectivamente, na distribuição atual de pássaros e lagartos na Amazônia. Essa teoria estimulou inúmeros especialistas a escreverem sobre a complexa história das mudanças climáticas na Amazônia. Colinvaux (1993) e Colinvaux et al. (2001), entretanto, afirmaram que tais fragmentações da floresta não ocorreram; enquanto Salo (1987) questionou as evidências do isolamento da floresta. Por sua vez, Van der Hammen & Hooghiemstra (2000), baseando-se, principalmente, em estudos palinológicos, apresentaram uma detalhada e importante revisão crítica sobre a história da vegetação na Amazônia, do clima e da diversidade de plantas, que reforça a proposta de Haffer.

Recentemente, Haffer & Prance (2001) enfatizaram que áreas extensas de florestas tropicais úmidas persistiram durante os períodos secos do Terciário e Quaternário, especialmente aquelas localizadas próximas de relevos de superfícies nas periferias da Amazônia, onde, provavelmente, originaram muitas espécies e subespécies de plantas e animais existentes atualmente. Segundo esses autores, essas áreas de refúgios úmidos devem ter sido separadas por vários tipos de savanas e florestas secas, bem como por outros tipos de vegetação intermediária. De acordo com Van der Hammen (2001) a avaliação de Haffer & Prance (2001) é uma honesta e respeitada análise do status de várias teorias propostas para explicar aspectos da biogeografia e da biodiversidade amazônica, usando os dados providos por colegas especializados em outras áreas de pesquisas.

Metodologia

A história da vegetação revelada por registros palinológicos

A resposta da floresta face às mudanças climáticas pode ser também observada por meio da análise de pólen e esporos que se preservam em sedimentos.

Os grãos de pólen constituem uma estrutura reprodutiva masculina de plantas superiores, tais como: Gimnospermas e Angiospermas. Esporos são as estruturas reprodutivas assexuadas de plantas vasculares inferiores como as Pteridófitas. Graças à exina (resistente parede externa dos grãos de pólen e esporos) tanto o pólen quanto os esporos ficam bem preservados por milhares de anos (Fig. 2a e 2b).



Fig. 2a. Fotos de grãos de pólen: a) sedimentos do Holoceno (Quaternário) e b) do Mioceno que possuem a mesma afinidade botânica. 1) Grãos de *Humiria*. (a) Localidade: sondagem Lago do Caju, profundidade: 42 cm. e (b) Localidade: amostras do Alto Amazonas e 2) Grãos de Poaceae. (a) Localidade: sondagem CSS-2 Carajás (PA), profundidade: 602-604 cm. (b) Localidade: amostras do Alto Solimões.

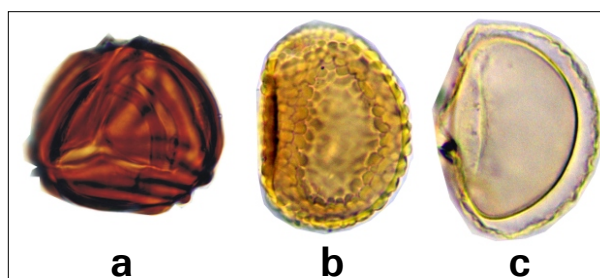


Fig. 2b. a) Esporo de *Magnastriatites grandiosus* (Mioceno). Localidade: Alto Amazonas, amostras de subsuperfície; b) Monolete verrugado. Localidade: sondagem Costa da Terra Nova (Ilha do Careiro), profundidade: 14 m; c) Esporo de *Isoetes* Pteridófitas aquática. Localidade: sondagem CCS-10, Carajás, profundidade 332 cm - 334 cm.

De acordo com Cronquist (1988), a maioria das espécies de Angiospermas ocorre nos trópicos, o que explica a rica diversidade de espécies da Floresta Amazônica, que contribui para uma grande variedade de pólen e esporos.

Além dos grãos de pólen e dos esporos, outros microfósseis podem ser preservados em sedimentos, como por exemplo: foraminíferos, diatomáceas etc. Os primeiros, eminentemente marinhos, são protozoários que possuem uma carapaça calcária e registram a presença de antigos mares. As diatomáceas, que são algas de água doce ou marinha, indicam a presença de antigos lagos e mares. Em amostras de sedimentos da Amazônia é freqüente a presença de *Botryococcus*, alga de água doce (Fig.3).

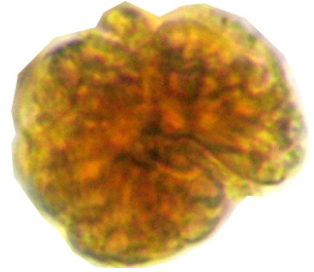


Fig. 3. *Botryococcus* uma alga característica de ambiente de água doce. Localidade: sondagem CSS-2 Carajás (PA), Profundidade: 2,50 m.

A análise de grãos de pólen e esporos contidos em sedimentos é uma das técnicas que vêm sendo usadas como uma importante ferramenta para indicar as mudanças da vegetação e clima no decorrer do tempo. Essa técnica, desenvolvida em 1916 pelo geólogo sueco Lennart von Post, tem sido um instrumento valioso na reconstrução da história de uma região.

Relações entre os sedimentos e os grãos de pólen

Os grãos de pólen das espécies polinizadas pelo vento são os mais importantes para o estudo em sedimentos, mormente para correlações a longa distância. Geralmente, essas espécies produzem grandes quantidades de pólen que são liberadas e dispersadas na atmosfera como “chuva de pólen” (Faegri & Iversen, 1966) que cai lentamente em camadas sucessivas sobre a superfície da terra.

Dado que as condições sejam favoráveis à preservação do pólen e esporos, caso não fiquem expostos à atmosfera por um longo período de tempo, eles podem ser levados pelo vento ou carregados por riachos para os lagos e pântanos (Livingstone, 1969).

Palinólogos cujas pesquisas estão limitadas, principalmente, às rochas do Cretáceo e de idade Cenozóica podem, na maioria das vezes, associar o pólen e os esporos às famílias, gêneros e, algumas vezes, às espécies das plantas atuais (Gray, 1965). O Cretáceo corresponde ao último período da Era Mesozóica e antecede os períodos do Terciário e Quaternário, ambos pertencentes a mais recente das eras geológicas: a Cenozóica (Fig. 1).

Além de servir como registro de mudanças da vegetação, a palinologia também apresenta uma outra valiosa função: a de fazer inferências de idade para a rocha ou sedimentos, em que está contida uma associação de grãos característicos de determinada era geológica, ou seja, plantas que se extinguíram, mas que deixaram registros de sua curta aparição (Fig. 4). Esse método é extremamente eficiente na datação relativa de sedimentos que não apresentam componentes possíveis de serem datados por métodos absolutos.

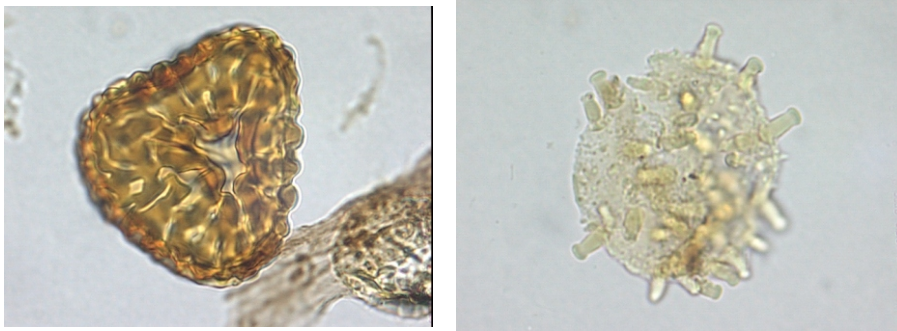


Fig. 4. Importantes grãos e esporos utilizados como marcadores de idade no Mioceno. Foto a esquerda corresponde ao esporo *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* que tem seu primeiro aparecimento no Mioceno Médio. A foto a direita é do pólen *Grimsdalea magnaclavata* que aparece a partir do final do Mioceno médio e extinta atualmente.

análise palinológica devem ser coletadas desde a superfície até a profundidade desejada e obtidas a cada 5 ou 10 cm. Após a coleta devem ser transportadas para o laboratório e preparadas em condições que evitem contaminação com grãos de pólen e esporos atuais ou com sedimentos de outras idades.

Além da preparação das amostras de sedimentos, que permitirá separar e concentrar os palinomorfos encontrados no material coletado, deverá ser feita também a preparação da palinoflora atual para facilitar a identificação.

Um dos métodos de preparação das amostras de sedimentos inclui o tratamento do sedimento com hidróxido de potássio a 10% (KOH) solução aquosa para remover os ácidos húmicos (Faegri & Iversen, 1966), seguido pela acetólise (Erdtman, 1960).

É necessária uma separação gravitativa pelo uso de um líquido pesado (por exemplo, uma mistura de bromofórmio álcool etílico 2:1). Essa densidade permitirá que os fragmentos minerais afundem, enquanto os grãos de pólen, esporos e outros materiais orgânicos flutuam (Faegri & Iversen, 1966).

Após a preparação, o resíduo contendo os palinomorfos é montado com gelatina glicerizada em lâminas de vidro para a análise microscópica.

A identificação dos grãos de pólen e esporos encontrados nas amostras é feita consultando a literatura especializada e por comparação com a coleção de palinomorfos atual.

Diagrama polínico

Para facilitar o estudo das mais importantes flutuações da palinoflora pertencentes às diferentes taxas encontradas nas amostras, é elaborado um diagrama polínico, onde são representados os resultados das análises da palinoflora de cada localidade estudada.

Esse diagrama é normalmente constituído de duas partes: (1) o diagrama geral onde estão representadas as percentagens de pólen de plantas que possuem afinidades ecológicas, e (2) curvas individuais representando as percentagens esporo-polínicas de cada táxon.

As mudanças mais marcantes nas frequências polínicas delineiam os limites entre as palinozonas onde uma associação de planta foi substituída por outra. Desse modo, de acordo com a significância das flutuações de percentagens polínicas, o diagrama é dividido em palinozonas que podem ser indicadas por letras: A, B, C etc.

Uma viagem à Floresta Amazônica através de um túnel do tempo

As amostras para análises palinológicas podem também ser obtidas por duas maneiras; uma mais contínua (através dos testemunhos) e a outra mais pontual (através dos afloramentos). A primeira, com maior resolução, porém com alto custo para obtenção, são amostras de testemunhos de sondagens (normalmente perfuradas para prospecção do petróleo), que apresentam informações completas, desde amostras mais antigas até mais recentes, ou seja, um registro contínuo do que foi preservado ao longo do tempo. Como os grãos de pólen e esporos são depositados e melhor preservados em ambientes aquáticos ou pantanosos, isso vai criando um registro sucessivo onde os grãos mais antigos vão sendo depositados antes dos mais recentes ao longo de milhões de anos e preservando-se nessa sucessão (lei geológica da sucessão de estratos), se as condições geológicas e ambientais assim o permitir.

O outro método é conhecido por coleta de amostras de afloramentos, ou seja, são camadas que normalmente ficam expostas quando são cortadas por rios ou estradas, aqui denominadas de “barrancos”, e que, apesar de não apresentarem a continuidade temporal dos testemunhos, apresentam características idênticas às da unidade geológica em que o investigador procura informações. A coleta é feita de modo a obter várias amostras em diferentes níveis estratigráficos, com a respectiva descrição litológica do nível amostrado e seu geo-referenciamento.

Essas amostras são levadas para o laboratório e preparadas com químicos, de modo que a parte inorgânica seja eliminada. O protocolo a ser seguido com essa metodologia química pode ser

encontrado na literatura especializada (Tschudy, 1969; Wood, et al., 1996). Como resultado final, obtém-se um concentrado com muita matéria orgânica e, conseqüentemente, muitos palinomorfs. A etapa seguinte é a confecção da lâmina que será minuciosamente estudada em um microscópio.

As espécies encontradas são descritas, desenhadas, e são dados nomes para cada morfotipo de acordo com suas características morfológicas. Muitos grãos têm uma particularidade morfológica, sendo possível sua determinação em nível genérico. As morfo-espécies são então, comparadas com grãos atuais para se identificar sua afinidade botânica e conseqüentemente a respectiva afinidade ecológica. Morfo-espécies com afinidades ecológicas semelhantes são agrupadas em categorias para ser feita uma inferência sobre a estrutura e composição florística de cada amostra.

A Amazônia e o Clima há 50 Milhões de Anos

Efeitos do clima sobre a vegetação durante o Cenozóico

Alguns eventos relativos ao efeito do clima sobre a vegetação durante o passado podem ser ressaltados, tais como: a alta diversidade encontrada no Eoceno logo após o maior evento de aquecimento climático do Cenozóico, que ocorreu durante o Paleoceno (Jaramillo, 2002) quando a temperatura aumentou em cerca de 12 °C (Zachos et al., 2001); a expansão de plantas C4 em resposta à aridez ocorrida desde o Mioceno, ocasionada pela baixa concentração de CO₂ (Pagani et al., 1999); ou até mesmo, a aparente fragmentação da floresta por vegetação tipo savana, ocorrida durante o Quaternário (Van der Hammen & Absy, 1994; Absy et al., 1991). Outros importantes eventos climáticos globais ocorreram durante o Mioceno principalmente devido a flutuações climáticas que oscilaram entre períodos quentes (Mioceno Médio) até períodos mais frios (Zachos et al., 2001) que desencadearam nas eras glaciais ocorridas em períodos mais recentes.

A evolução paleoclimática do Mioceno tem sido baseada em estudos de isótopos estáveis de sedimentos retirados do fundo do mar, que apresentam seqüências completas, e o registro de mudanças na temperatura da água e, conseqüentemente, temperatura continental (Zachos et al., 2001; Holbourn et al., 2005). Esses estudos indicam que, durante o Mioceno Médio (17-15 Ma), a temperatura da Terra aumentou em cerca de 7 °C (Zachos et al., 2001). Esse evento também foi registrado em estudos paleobotânicos na Europa Central (Morsbrugger et al., 2005).

Logo após o aquecimento global do Mioceno Médio, baixos níveis na concentração de CO₂ seguidos por queda da temperatura podem ser registrados, resultando nas glaciações durante o Quaternário (Zachos et al., 2001). Os mecanismos que comandaram o clima durante o passado ainda permanecem desconhecidos, porém muito discutidos. Dentre eles, podem ser ressaltados: movimentos orbitais da Terra (Tiwari, 1987; Pagani et al., 1999); concentração de CO₂ controlada por intemperismos, eventos tectônicos (Pagani et al., 1999; Flower, 1999) e aumento no nível do mar. Sendo esses mecanismos responsáveis pela liberação de grandes cargas de CO₂ na atmosfera.

Em oposição ao cenário global, a Amazônia não foi modificada pelo aquecimento global ocorrido no Mioceno Médio devido à presença da, então recente, Cordilheira Andina, que funcionou como um bloqueio que permitiu o aprisionamento da umidade atmosférica, e, conseqüentemente, as condições climáticas foram semelhantes às atuais com alto índice de pluviosidade e também umidade (Kaandorp et al., 2005). De acordo com esses autores, apesar de condições climáticas favoráveis, a floresta não existiu devido à presença de grandes corpos de água que também só poderiam ser sustentados por alta precipitação.

Entretanto, pela heterogeneidade e pela grande extensão da Amazônia, esses dados devem ser mais bem apurados, haja vista os estudos existentes atualmente serem pontuais e embasados em escalas de tempo que ainda não são bem estabelecidas em todos os conhecidos para vários sítios paleontológicos.

Paleoecologia da América do Sul

Uma grande parte do conhecimento paleoecológico atual da América do Sul é provida por dados palinológicos como demonstram alguns dos trabalhos realizados na Guiana, Suriname, Brasil, Colômbia, Venezuela, Equador e Argentina, que destacamos a seguir.

Registros palinológicos de sedimentos costeiros da Guiana e Suriname mostram uma dominante influência das flutuações do nível do mar nas zonas de vegetação costeira (Van der Hammen, 1982). No Suriname, uma significativa extensão de savanas, durante períodos glaciais, foi registrada por Wijmstra (1969, 1971) nos estudos de depósitos Plio-Pleistocênicos da planície costeira. Os diagramas polínicos mostram que fases de savanas alternaram-se com fases de mangues e floresta pantanosa. Nas planícies costeiras da Guiana e Suriname, a predominância da vegetação de savana ocorreu durante períodos em que o nível do mar estava baixo.

Nas savanas Rupununi na Guiana, próximo à fronteira com o Brasil, a análise de pólen e datações de ^{14}C , em amostras de sedimentos do Lago Moreiru, mostraram uma expansão de savanas que coincidiram com os baixos níveis do mar. Durante parte do Holoceno, há cerca de 5,000 anos A. P. e principalmente nos últimos 3,000 anos, evidências palinológicas indicaram que savanas predominaram nessa área (Wijmstra & Van der Hammen, 1966).

No Brasil, estudos palinológicos realizados por Lorscheitter (2003) indicam uma grande influência marinha na Planície Costeira do Rio Grande do Sul entre 8,000-4,000 A.P., e o início da expansão da Floresta Atlântica após 4,000 A.P., com a regressão do nível do mar e dessalinização dos terrenos.

Dados palinológicos do Lago Fuquene na Cordilheira Oriental da Colômbia permitiram o conhecimento da história da vegetação e do clima durante o Pleistoceno nessa região (Van Geel & Van der Hammen, 1973). Mais recentemente, análises de pólen e de datações de ^{14}C , em sedimentos de duas localidades dos Llanos Orientales, Colômbia, mostraram a dinâmica entre savana aberta (*Poaceae*, *Cyperaceae*), savana lenhosa (*Byrsonima*, *Curatella* e *Didymopanax*), palmeiras de áreas alagadas (*Mauritia*, *Mauritiella*), floresta e floresta de galeria (Berrio et al. 2002).

Nos Andes Venezuelanos, estudos palinológicos do Lago Valência (Salgado-Labouriau 1980, 1982) demonstraram que no final do Pleistoceno e aproximadamente a 13,000 A.P. o clima foi muito seco e a região ocupada por uma vegetação semi-árida. A floresta tropical úmida que ocorre atualmente na área não existiu durante esse intervalo.

Análises de pólen na Amazônia Equatoriana revelaram a história das mudanças da vegetação nessa área durante os últimos 7,000 anos, incluindo evidência de atividade humana entre cerca de 2,850 anos A. P. e 800 A. P. (Bush & Colinvaux, 1988).

Na Argentina, D'Antoni & Spanner (1993) estabeleceram a relação entre os dados da dispersão atual de pólen e índices de vegetação computados de dados de sensoriamento remoto e predisseram os índices de vegetação com base nos dados polínicos. D'Antoni & Schaebitz (1995) aplicaram esse método para a reconstrução dos índices de vegetação passada, para um período de 9,000 anos.

Registros palinológicos do Quaternário na Amazônia Brasileira

Pesquisas palinológicas das extremidades sul e sudeste da Região Amazônica, atualmente coberta por floresta (Rondônia e Carajás, respectivamente), revelaram mudanças na vegetação dessas áreas. Durante o Pleistoceno Tardio, a vegetação de savana foi substituída pela floresta tropical úmida (Absy et al., 1991, Van der Hammen & Absy, 1994).

No noroeste da Amazônia, Colinvaux et al. (1996) afirmaram que, de acordo com os resultados das análises polínicas de sedimentos do Lago Pata, a floresta tropical úmida ocupou a região continuamente e que as savanas não estiveram presentes durante o último máximo glacial.

Por sua vez, Van der Hammen (2001) enfatiza que dados geológicos e paleoecológicos na Amazônia (Haffer & Prance, 2001) evidenciam claramente que os padrões de vegetação durante o último máximo glacial proveram suficiente diferenciação para permitir isolamento entre populações locais, como ocorre atualmente de forma menos extrema, onde as áreas de floresta úmida que apresentam alta biodiversidade estão separadas por áreas de florestas de ambiente seco com uma biodiversidade muito menor.

Pesquisas palinológicas realizadas por (Absy 1979) em sedimentos do Lago Galheiro em Roraima mostraram que há 205 ± 75 anos A. P a vegetação apresentou uma completa dominância de Gramineae e poucas árvores, destacando dentre essas, a palmeira *Mauritia flexuosa*.

Resultados semelhantes foram encontrados em outra localidade de Roraima na análise de pólen em amostras de sedimentos do Lago Redondo, que apresentou uma dominância de Gramineae associada a outras plantas herbáceas, como: Compositae, Borreria e Cyperaceae há aproximadamente 2090 ± 60 anos A.P. (Absy et al. 1997).

Entretanto, pesquisas palinológicas e datações de ^{14}C em sedimentos do lago da Fazenda São Joaquim, próximo a Boa Vista, mostraram que há cerca de 3650 ± 60 anos.

A. P houve uma dominância de vegetação de floresta, evidenciada parcialmente pela presença de elementos de vegetação secundária, como: *Aparisthium*, *Cecropia* e *Piper* (Absy et al. 1997).

Mais recentemente, registros palinológicos do Lago Caracaranã em Roraima (Rodrigues, 2006) evidenciaram um clima aparentemente mais úmido que o encontrado atualmente na área; ainda que a região deva ter sofrido a ação antrópica, haja vista os diagramas polínicos mostrarem uma associação de tipos indicadores de ambientes antropizados, tais como: presença de *Mauritia flexuosa*, *Cecropia* e picos de carvão. As análises polínicas em sedimentos do Lago Caracaranã e dos três lagos estudados de Roraima indicaram que poucas mudanças na vegetação ocorreram nas áreas de savana de Roraima, pelo menos durante os últimos 4.770 anos (Rodrigues, 2006; Rodrigues & Absy, 2005).

Na planície costeira da região nordeste do Pará, pesquisas palinológicas em sedimentos do Holoceno (Behling et al., 2001) revelaram mudanças paleoambientais que sugerem que manguezais substituíram um antigo ecossistema florestal costeiro há cerca de 5,200 anos A.P.

Correlações entre as flutuações do nível da água durante os últimos 3,000 anos inferidas de estudos de pólen e datações de ^{14}C em amostras de sedimentos de Costa da Terra Nova na Amazônia Central (Absy, 1979) foram comparadas com os períodos de migrações de algumas tribos indígenas na Amazônia (Meggers, 2001).

Estudos de pólen e datações de ^{14}C na planície costeira do Pará permitiram definir, durante o Holoceno, três fases de mudanças da vegetação, a saber: a fase mais antiga datada cerca de $6,850 \pm 40$ anos A.P. apresenta a dominância de manguezal; a fase intermediária, que indica uma regressão marinha a $4,943 \pm 40$ anos A. P. e a fase mais atual, datada de $2,350 \pm 40$ anos A.P., que é caracterizada pela presença de florestas de mangues mais diversificadas (Senna, 2002, Senna & Absy, 2003).

Os dados paleoecológicos sobre o Neógeno na Amazônia demonstram que é imprescindível o conhecimento da história desse importante ecossistema, para que se possa ter uma melhor compreensão da origem, manutenção e preservação da floresta frente às modificações do meio físico.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo concedidas às autoras e pelos Projetos (Proc. 480944/2004-0 e 472563/2006-8); à CAPES pela bolsa de estudo (Doutorado Sanduíche) concedida à segunda autora; à Coordenação de Pesquisas em Botânica (CPBO) e à Divisão do Curso de Pós-Graduação em Ecologia (DCEC) do INPA pelo apoio logístico.

Simões Falcão, da Divisão de Propriedade Intelectual e Negócios do INPA (DPIN) pela valiosa ajuda, sempre que solicitada; à Isabella Dessaune Rodrigues do Curso de Pós-Graduação em Botânica do INPA pela organização das fotos.

Culturas de Distúrbio e Diversidade em Substratos Amazônicos

William Balée

O novo programa de pesquisa em ecologia histórica está centrado nas mudanças das paisagens ao longo do tempo (Balée 2006). A paisagem (Inglês. *landscape*, Fr. *paysage*, Ger. *Landschaft*) é um conceito que une a atividade humana com ambientes locais. Paisagens são “aspectos da biosfera que podem ser efetivamente examinados *in loco*” (Kates et al., 1990, p. 5). Elas apresentam, além de seu enraizamento espacial, uma dimensão temporal ou histórica (Crumley 2003; Ingold 1993; Marquardt & Crumley 1987; Neves & Petersen 2006; Russell 1997). Atividades do aprendizado humano que, quando padronizadas e compartilhadas em grupos sociais, são coletivamente chamadas de “culturas”, afetam as paisagens em termos das outras espécies presentes e nos números (ou biodiversidade) destas, dentre outros parâmetros de mudança, tais como, e especialmente em relação ao tema principal desta coleção, os atributos do solo. Na Amazônia e, em parte, em outros locais, essas mudanças, resultantes de distúrbios culturalmente induzidos, também podem envolver modificações significativas de padrões de drenagem, elevação topográfica e a área de superfície coberta por um ambiente estritamente construído, tais como: estradas, canais, reservatórios, barragens, taludes, praças, canais circulares e complexos de montículos artificiais (Erickson, 2000; Erickson, 2006; Erickson & Balée, 2006; Heckenberger, 2006; Heckenberger et al., 2003; Raffles, 2002). A cultura indígena da Amazônia tem perturbado e influenciado a diversidade de paisagens em uma variedade de substratos durante longos períodos de tempo.

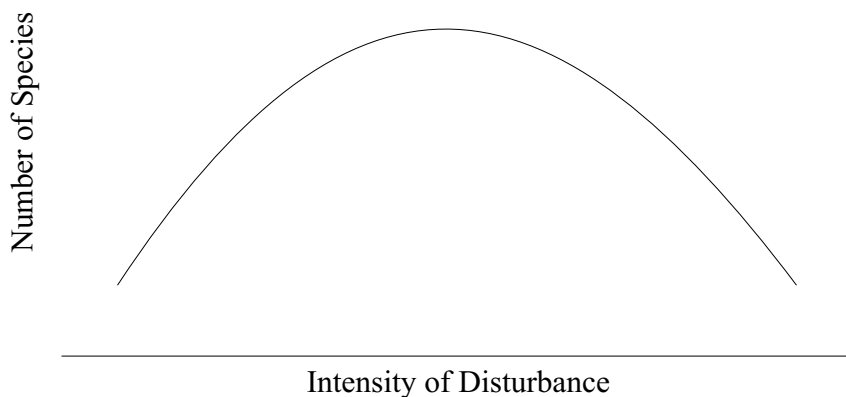
O conceito de transformação de paisagens difere da sucessão ecológica por postular um fator humano envolvido nos distúrbios e diversidade nos mais variados habitats. A sucessão ecológica está normalmente associada ao conceito de equilíbrio dos ecossistemas. Estes são conceituais enquanto as paisagens são espacialmente reais. Os ecossistemas são analíticos enquanto as paisagens são unidades ontológicas e analíticas. A sucessão ecológica é de dois tipos analíticos: primária e secundária (Gutierrez & Fey 1980, Huston 1994, Walker & del Moral 2003). Aquela concerne à colonização de um novo habitat onde não havia vida antes; usualmente, envolve distúrbios originados fora do habitat em questão. Também conhecida como sucessão alogênica (Begon et al. 1990, Huston 1994), ela indica uma mudança nas condições abióticas que produzem um novo substrato para a vida, especialmente para organismos sésseis tais como plantas verdes. Em certos ambientes, os organismos sésseis tendem a ser mais diversificados em espécies que os organismos móveis (Huston 1994). Exemplos incluem a colonização por plantas e corais em atóis vulcânicos e a colonização por plantas de barras de ponta (as áreas opostas às margens cortadas) e ilhas em rios tais como Solimões e Amazonas. Em contraste, a sucessão secundária é condicionada e relevante a distúrbios contínuos do ambiente que, dependendo da perspectiva, aumentam ou diminuem a diversidade alpha (local) da diversidade de espécies. Em relação aos Neotrópicos, a sucessão secundária pode incluir quedas de árvores, que abrem clareiras na floresta ou detritos deixados por animais no chão da floresta, que permitem o desenvolvimento de microorganismos. O conceito original de sucessão em ecologia está baseado no equilíbrio de comunidades bióticas (Clements 1916). Isso refere-se ao conceito de comunidades clímax a missão da sucessão.

A teoria de biogeografia de ilhas normalizou o equilíbrio, como uma doutrina, ao introduzir a noção de seleção de espécies *r* vs. *K* (MacArthur & Wilson 1967). A teoria postula que quanto mais afastada estiver uma ilha do continente, maior será seu endemismo e diversidade de espécies e maior o número de organismos *K*-selecionados. Em contraste, quanto mais perto estiver a ilha do continente, outros fatores sendo iguais, menor sua diversidade devido a sua susceptibilidade a invasões de organismos do continente. Tais invasores substituem a biota local em nichos iguais ou muito semelhantes, causando seu desaparecimento e possível extinção. A teoria é elegante como modelo para explicar o surgimento e

desaparecimento da diversidade de espécies em ilhas (leia-se ecossistemas), mas problemática por não especificar um vetor humano ou histórico no transporte de muitas espécies invasoras, algumas das quais, tal como a cobra arbórea marrom em Guam, têm efeito cascata em novos ambientes (Fritts & Rodder 1998). A teoria exclui a história e por essa razão tem sido difícil de replicar, no mundo real e ontológico da diversidade em ilhas, a biologia de invasões (Huston 1994, Lomolino 2000, Simberloff 1997).

A sucessão secundária refere-se à substituição de organismos por outros tipos de organismos (tais como organismos K-selecionados por r-selecionados) em um substrato que foi perturbado; assim como acontece a uma floresta com boa drenagem quando submetida a furacões, tornados, secas, quedas por vento e finalmente, como tem sido especialmente bem estudado nos trópicos, pelas práticas agrícolas de corte e queima ou outra forma de agricultura intensiva. Em todos os casos, tanto na teoria de sistemas como na ecologia cultural, a idéia é que após o distúrbio a sucessão de grupos de organismos continua, no caso de florestas tropicais, passando de espécies r-selecionadas para clímax, dominância e diversidade máxima (saturação), ou seja, vão além do que são, basicamente, comunidades K-selecionadas. Esta é a comunidade clímax, um conceito de sistemas ecológicos que data do início do século 20 (Clement 1916, Huston 1994).

A teoria do equilíbrio em ecologia tem muitos defensores (Lomolino 2000), mas um número cada vez maior de ecologistas reconhece o distúrbio não como um agente alheio de mudança em um ecossistema, mas como elemento fulcral para o funcionamento e manutenção da diversidade (Botkin 1990, Huston 1994, Perry & Amaranthus 1997, Smith & Wishie 2000). O distúrbio que eles postulam não é a remoção de muitos grupos de espécies (distúrbio muito intenso), mais um distúrbio contínuo em escala muito menor, chamado de distúrbio intermediário, tal como fogo controlado e quedas de árvores na floresta, sem os quais a diversidade local (diversidade alfa) não pode ser entendida (Figure 1).



Fonte: Myers JH & Bazely 2003.

Fig. 1. Modelo simplificado da Intermediate Disturbance Hypothesis.

O distúrbio intermediário, através de queima controlada nas savanas Africanas, cerrados do Brasil Central e Llanos de Mojos na Bolívia, parece promover a coexistência de árvores e pastagens, aumentando a heterogeneidade da paisagem (Erickson 2006, Jeltsch et al. 1998, Mistry et al. 2005; Posey 1985). O distúrbio intermediário, em uma escala humana e cultural, envolve a substituição parcial de espécies de maneira episódica e cíclica em pequenas parcelas de terra (desde clareiras causadas pela queda de árvores até milhares de quilômetros quadrados como no caso dos Llanos de Mojos) em oposição a perturbações significativas como limpeza total, deflorestação, corte seletivo, inundação e eutroficação. O distúrbio intermediário não conotaria intensificação, industrialização ou globalização, o que poderia levar à diminuição da diversidade de espécies por unidade de área, por excesso de utilização, fertilização e erosão. Os efeitos mensuráveis do distúrbio intermediário

mediado por humanos referem-se a, pelo menos, um dos três tipos de diversidade de espécies reconhecidos em ecologia: a alpha diversidade, que é o número de espécies em um local restrito e com parâmetros ambientais constantes (tais como drenagem e tipo de solo). O distúrbio intermediário mediado por humanos também pode ser observado na beta diversidade (diversidade ao longo de um gradiente ambiental, tal como pendente ou chuva, envolvendo distância entre parcelas adjacentes previamente assinaladas exclusivamente pela alpha diversidade) (Campbell et al. 2006, Erickson & Balée 2006, Huston 1994). O terceiro tipo de diversidade *gamma* refere-se à diversidade de uma região inteira (tal como a Bacia Amazônica). Em relação à bacia amazônica, sendo que a maioria da diversidade de espécies predata o Pleistoceno (Bush 1994, Vieira et al. 2001), as sociedades pré-históricas e do início da colônia tiveram um impacto insignificante, a não ser através da introdução de espécies invasoras (invasões biológicas) que, por sua vez, ocorreram em relação inversa à diversidade de espécies preexistentes nos locais de introdução. A *gamma* diversidade da Amazônia não tem uma única explicação simples (Bush 1994); exige um modelo complexo, baseado na ecologia histórica, que possa levar em conta não somente os fatores físicos e temporais, mas também os de origem humana que impactaram as paisagens ao longo do tempo. O conceito de sucessão ecológica termo originalmente usado na teoria de sistemas e de equilíbrio ainda é útil em um modelo dinâmico de mudança ambiental com aumento e diminuição de diversidade biológica (Huston 1994), foco principal da pesquisa em ecologia, mas por causas diferentes daquelas da ecologia de sistemas. A sucessão ecológica, em ecologia histórica, pode ser chamada de transformação de paisagens (sucessão antrópica), da qual existem vários tipos.

Transformação de Paisagens: Primária e Secundária

A transformação primária de paisagens, na Bacia Amazônica central e baixa, envolveu a construção de montículos bem como mudanças nos cursos dos rios para facilitar o transporte, com efeitos aparentemente insignificantes na diversidade de espécies (Neves & Peterson 2006, Raffles 2002). Os efeitos, se existiram sobre a diversidade alpha e beta, da manipulação de solos e drenagem no Alto Xingu (Baixo Amazonas) cerca de AD 1000 são desconhecidos (Heckenberger et al. 2003), assim como em outras áreas de Terra Preta Amazônica (solos antropogênicos) [Erickson 2003]. Porém, aumentos na alpha diversidade da flora e fauna por manejo e uso indígena de recursos, foram reportados para numerosos ambientes nos Neotrópicos (Balée 1993, Politis 2001, Posey 1985, Rival 2001, Zent & Zent 2004). Paisagens dos índios Ka'apor, Guajá, e Tembé da Pré-Amazônia (extremo leste da Amazônia, com cerca de 10.000 km²) incluem floresta alta (relativamente intacta) e florestas de uso velhas (com distúrbio indígena intermediário, datando de 40 a 150 anos, cf. Myers & Bazely 2003). Florestas de uso velhas são exemplos de sucessão secundária. Usando procedimentos standard de inventário (Campbell et al. 2006), inventários de quatro hectares de floresta de uso velha e quatro hectares de floresta alta próxima na Pré-Amazônia mostraram que: 1) não houve diferença significativa na diversidade alpha de árvores ao comparar florestas de uso velhas e floresta alta; 2) parcelas adjacentes de floresta alta e floresta de uso somente tiveram a metade do número de espécies comuns, ao comparar parcelas do mesmo tipo de floresta entre si, sem importar a distância, com parcelas da mesma categoria; 3) o efeito é um ganho lento, tanto em diversidade alpha quanto beta (com esta envolvendo o gradiente tempo [Huston 1994]), com a floresta alta sendo mais velha que a floresta de uso (Balée 1993, Balée 1998).

As florestas secundárias não são necessariamente mais pobres em diversidade que as primárias (Schulze et al. 2004). O habitat dos índios Sirionó da Amazônia Boliviana inclui uma paisagem heterogênea de florestas bem drenadas em montículos residuais, florestas ligeiramente inundadas na base dos montículos (chamadas florestas de pampa) e savanas sazonalmente inundadas e mal drenadas (que representam aproximadamente dois terços de toda a paisagem) (Erickson 2003, Erickson 2006, Erickson & Balée 2006, Townsend 1996). As florestas de montículo são todas antropogênicas e datam de 500 e 1000 anos e, desde sua construção, foram continuamente habitadas; as florestas de pampa também são antropogênicas e artefatos da construção dos montículos. Dois inventários de um hectare,

um de uma floresta de montículo de 18m de altura e o outro de uma floresta de pampa próxima, mostraram : 1) similaridade no número de espécies, com 55 na floresta de montículo e 53 na floresta de pampa; 2) as duas florestas tinham 24 espécies em comum (uma alta percentagem quando comparadas à Pré-Amazônia); 3) o número total de espécies nas duas florestas de 84 ($[55 + 53] - [24] = 84$); 4) os dois tipos de floresta são dominados por oligarquias (as dez espécies de maior importância ecológica nos montículos constituem 65.4% de todos os valores de importância de todas as árvores na parcela, além disso as dez principais espécies do inventário da pampa representam 70.9% de todos os valores de importância de todas as árvores da parcela). Porém, as oligarquias são algo diferentes (com uma espécie de palmeira tendo um valor de importância de 46.21 no montículo e 9.21 na pampa; outra palmeira tem um valor de importância de 41.2 no montículo e 83.27 na pampa) o que é provavelmente devido à pendente (Erickson & Balée 2006). Ambas florestas consistem de muitas espécies comestíveis ou úteis; pelo menos uma das espécies, uma *Sorocea* com frutos comestíveis usados para produzir uma bebida fermentada de importância nos rituais dos índios Sirionó, parece ser protegida. Seu conhecimento atual é de importância intrínseca para entender a ecologia histórica da área.

Nesse mosaico de paisagens, as savanas são paisagens originais mantidas com queimas periódicas (Erickson 2006). A savana é inundada todos os anos, alternando com uma época seca bem delimitada. O número total de plantas vasculares na savana é menor que 20 com ciperáceas e gramíneas sendo dominantes; na maioria dos casos, na savana aberta, a única árvore é a palmeira *Copernicia* sp., que Henderson (1995) exclui de sua definição de palmeiras amazônicas.

A transformação primária da paisagem que aconteceu no Complexo Montícola de Ibibate (o montículo e a floresta de pampa adjacente) seria em termos ecológicos sucessão primária, mas este termo comumente exclui antropogênese da paisagem (e.g., Huston 1994). Envolveu uma substituição completa das espécies de savana com árvores intolerantes à inundação e árvores que são facultativas de terra firme e planícies de inundação, com uma alpha diversidade várias ordens de magnitude superior a da savana. Montículos comparáveis, especificamente montículos com restos de gastrópodes e bivalves de diferentes espécies no sudoeste da Flórida e sudeste da Louisiana, que suportam uma maior diversidade que os pântanos próximos, sem importar os níveis de salinidade, também representam aumentos causados pelo homem na alpha diversidade (Kidder 1998, Marquardt 1992).

O Paradoxo de Enriquecimento e Diversidade de Espécies no Contexto Amazônico Pré-Histórico

O paradoxo de enriquecimento refere-se a um fenômeno bem conhecido, onde a fertilização reduz a diversidade de espécies e genética em plantas (Begon et al. 1990, Huston 1994, Rosenzweig 1971). Ainda que os solos, na maioria das florestas secundárias, sejam significativamente mais férteis que os das florestas primárias (Denevan 2001, Denevan 2006, Erickson 2003, Erickson & Balée 2006, Neves & Petersen 2006), não têm sido reportados como sofrendo o paradoxo do enriquecimento. Os índices de fertilidade dos solos no Inventário do Montículo e no Inventário da Pampa são apresentados na Tabela 1. Os solos do montículo apresentam maior pH (menos acidez) que os da pampa e também mostram maior quantidade e maior saturação de bases, menos alumínio e conteúdo maior de fósforo e nitrogênio que os dela. Ambos os solos apresentam quantidades semelhantes de areia, silte e argila, com os siltes predominantes nos dois, cujas texturas são classificadas como silte. Esses solos são ricos quando comparados com a savana. Antropogênicos, são o resultado de distúrbios culturais envolvendo queima e deposição de matéria orgânica durante um longo período de tempo. Estes distúrbios podem não ter envolvimento de enriquecimento intencional do solo, como parece ser o caso das culturas pré-históricas da Amazônia Central (Neves & Peterson 2006). Ainda é cedo para determinar intencionalidade humana na explanação dos atributos do solo per se, embora a construção e desenho do Complexo de Montículos sejam claramente resultantes de planejamento e visão futura dos povos pré-históricos. O complexo é resultante de uma cultura de distúrbios no passado, que afetou a diversidade no presente. No complexo Montícola de Ibibate, o enriquecimento do solo e o aumento da diversidade alpha e beta estão unidos pelo fato ontológico de distúrbios culturais.

Tabela 1. Atributos de amostras de solos de do Complex Ibibate Mound Complex (0-20 cm abaixo da superfície).

| Local | pH | Ca | Mg | Na | K | Soma de bases | Saturação de bases % | Al (cmol kg ⁻¹) | P ppm | Total N % |
|-------|-----|-----|-----|------|-----|---------------|----------------------|-----------------------------|-------|-----------|
| Mound | 6,3 | 6,7 | 2,4 | 0,13 | 1,0 | 10,2 | 98 | — | 59 | 0,22 |
| Pampa | 4,5 | 1,4 | 2,0 | 0,33 | 0,4 | 4,1 | 65 | 0,9 | 7 | 0,17 |

Assim, a ecologia florestal nesses casos de sucessão primária sem causas naturais é, na realidade, um artefato de cultura e sociedade. Para distinguir o impacto dos distúrbios culturais, sobre o ambiente, daqueles que não são causados pelo homem. Entretanto, os distúrbios culturais são escalares e temporais (Peterson & Parker 1998, Sheuyange et al. 2005), referindo-se, mais precisamente, à transformação da paisagem primária e secundária em uma escala humana de tempo. Para o Novo Mundo, esta escala é de aproximadamente desde o final do Pleistoceno, através do Holoceno até o presente. Em outros termos, as diversidades alpha e beta são passíveis de análise histórica, como partes do passado humano e não somente como resultantes da seleção natural e forças evolutivas em um vácuo cultural. Pesquisas futuras podem gerar muita informação sobre distúrbios culturais e o efeito, às vezes positivo, que podem ter sobre a diversidade de espécies, que em conjunto constituem muitos tipos de transformação de paisagens, incluindo pesquisas etnográficas em sociedades modernas, pesquisas arqueológicas e inventários biológicos em áreas antes ocupadas por sociedades pré-históricas. Essas pesquisas podem abordar, de maneira mais abrangente, a questão da intencionalidade na transformação de paisagens por sociedades indígenas, tanto do ponto de vista etnográfico quanto arqueológico.

As Atividades Econômicas das Populações Indígenas Amazônicas e a Formação das Terras Pretas: O Exemplo dos Asurini do Xingu

Fabiola Andréa Silva

Os Asurini do Xingu

Os Asurini do Xingu são falantes de uma língua pertencente à família lingüística Tupi-Guarani do tronco lingüístico Tupi. Atualmente, eles ocupam uma aldeia localizada na margem direita do Rio Xingu, junto da qual está o P.I. Kuatinemu, administrado pela Fundação Nacional do Índio Funai(Funai) por meio de sua unidade administrativa localizada no Município de Altamira, no Estado do Pará.

As primeiras informações sobre essa população remontam ao século passado; no entanto, ela só veio a ser contatada oficialmente em 1971, primeiramente pelos padres Anton e Karl Lukesch e, posteriormente, pela Funai, a partir da frente de atração liderada por Antônio Cotrim Soares.

Conforme a bibliografia, ela teria ocupado historicamente um território que ficava entre a margem esquerda do Rio Bacajá, a margem direita do Rio Xingu, a confluência destes dois rios e as margens do Igarapé Bom Jardim. Na época do contato, a população Asurini estava distribuída em duas aldeias localizadas às margens do Igarapé Ipiaçava. A partir de 1972, no entanto, ela passou a ocupar uma única aldeia que foi instalada ao sul da localização anterior, na margem direita do mesmo igarapé, onde permaneceu até 1985, quando se transferiu para o local em que se encontra hoje (Coudreau, [1897]1977:33-34; Müller, 1984/85:91-92, 1987:37-42, 1990:35-40; Nimuendajú, 1948:225).

Seu local de ocupação mais antigo teria sido a região às margens do Bacajá, de onde se deslocou devido às pressões dos extrativistas regionais e aos ataques das populações indígenas Kayapó. Teria, então, ocupado a região dos Igarapés Piranhaquara e Ipiaçava onde estabeleceu, desde a década de quarenta, várias aldeias. Sendo novamente alvo de perseguição, deslocou-se, desta vez, para a região do Igarapé Ipixuna. Lá permaneceu até ser expulsa pelos Araweté que se estabeleceram naquela região, por volta da década de sessenta, empurrados pelos grupos indígenas Kayapó e Parakanã. Deslocando-se novamente em direção ao Igarapé Ipiaçava, a população Asurini procurou, finalmente, estabelecer o contato com os brancos a fim de escapar às investidas dos grupos inimigos (Müller, 1984/85:92, 95; 1990:36-40; Ribeiro, 1982:27; Viveiros de Castro, 1986:166-167).

Nos primeiros anos do contato, no entanto, ela, que já vinha sofrendo perdas no seu contingente populacional devido aos confrontos com as populações inimigas, vê-se diante de um inimigo ainda mais devastador: as doenças transmitidas pelos brancos. Estima-se que, nos anos 1930, a população Asurini totalizava aproximadamente 150 indivíduos, porém, na década de setenta, quando ela foi oficialmente contatada, esse número estava reduzido em aproximadamente 40%; devido às epidemias de gripe e malária, à tuberculose e às precárias condições de assistência médica (Arnaud, 1989:353-354; Müller, 1990:45-48; Ribeiro, 1982:23-30). No início da década de 1980, a situação era ainda mais alarmante, pois foi constatada a existência de apenas 52 indivíduos em 1982 (Müller, 1987).

Além da incidência das doenças infecto-contagiosas transmitidas pelos brancos, a baixa taxa de natalidade entre a população também contribuiu para aquela situação demográfica. Esta pode ser explicada em função dos mecanismos de controle de natalidade exercidos pelos Asurini desde antes do contato. Tais mecanismos estão relacionados a fatores históricos (ataques de grupos inimigos) e culturais (regras de casamento, filiação e xamanismo) (Müller, 1984/85:97-100).

A partir do final dos anos 1980, com o crescente número de nascimentos na aldeia e uma melhor expectativa de vida por parte dessa população, a sua situação demográfica começou a se reverter. Em

março de 2005, quando estive pela última vez na aldeia, ela apresentava um número de 115 indivíduos, incluindo crianças e adultos. Assim, apesar das dificuldades enfrentadas com relação às populações inimigas e uma crescente depopulação provocada pelas doenças do mundo civilizado, os Asurini conseguiram sobreviver e vêm afirmando o seu modo de vida e visão de mundo.

As atividades econômicas dos Asurini do Xingu

Os Asurini do Xingu são agricultores que se caracterizam pela produção de uma variedade de cultivos dentre os quais se destacam diferentes espécies de milho e mandioca. O primeiro é consumido mais abundantemente entre os meses da colheita (fevereiro-abril), na forma de mingau ou assado e, quando seca, é armazenado para ser transformado na farinha que será consumida nos demais meses do ano exclusivamente na forma de mingau. A mandioca, por sua vez, é consumida, regularmente, durante todo o ano na forma de diferentes mingaus e farinhas, conforme a variedade. Eles também plantam variegadas espécies de algodão, urucum, batata, cará, feijão e banana. Cabe ressaltar que os dados sobre a subsistência Asurini estão bastante esparsos, encontrando-se as principais referências sobre o assunto nos trabalhos de Balée (1988; 1989 a,b; 1994 a,b).

Conforme Müller (1990:83-85) salientou, do plantio à colheita, a agricultura é, basicamente, uma tarefa feminina; etapas em que as mulheres só eventualmente recebem o auxílio dos homens. Cabendo a estes, como atividade precípua, a implantação e preparação da roça, por meio da derrubada e queima da vegetação (Fig. 1).



Fig. 1. Preparo da roça com a derrubada da vegetação de grande porte.

A escolha, implantação e o preparo dos locais de roça ocorrem nos primeiros meses da estação seca (maio a julho) e da estação chuvosa (outubro a novembro); ocasiões em que serão plantadas diferentes cultivares. Durante esses períodos, os Asurini, normalmente, passam a residir temporariamente nas áreas de implantação das roças, construindo pequenos acampamentos que possam abrigar o grupo doméstico. Em julho de 2002, visitando alguns desses acampamentos, pude constatar que apresentavam várias estruturas (descanso, cozinha e pequenos viveiros de animais), ou seja, eles

reproduziam em menor escala o espaço doméstico da aldeia. Na maioria das vezes, os grupos domésticos aparentados mantêm acampamentos próximos uns dos outros, assim como as próprias roças que podem ser cultivadas e exploradas conjuntamente. Esses acampamentos são mantidos durante todo o período de implantação, preparo e plantio das roças, bem como na época da colheita quando alguns produtos como o milho podem ser assados e consumidos neles (Fig. 2).



Fig. 2. O acampamento de roça com os vestígios de fogueiras utilizadas para preparar alimentos.

Segundo os informantes, o critério de escolha do local de implantação da roça leva em consideração, em primeiro lugar, a configuração do solo. Os Asurini preferem os locais que eles definem como sendo “de terra fofa e escura”. Em julho de 2002, acompanhei algumas incursões aos locais que estavam sendo preparados para o plantio, ocasião em que pude observar a coloração escura do solo, inclusive, a presença de pequenas quantidades de material cerâmico arqueológico.

Além da configuração do solo, os Asurini consideram fundamental que o local de implantação da roça esteja localizado longe da margem de alagação do rio, que ocorre na estação chuvosa, época em que se dá a colheita do milho. Algumas vezes, as roças acabam sendo implantadas em locais de antigas roças abandonadas. Segundo os Asurini, estas são abandonadas quando se tornam improdutivas em torno de três anos e somente serão reutilizadas para o plantio depois que a vegetação de pequeno e médio porte estiver recomposta.

Depois de escolhido o local, eles iniciam a derrubada da vegetação de grande e médio porte e começam a capina da vegetação de pequeno porte; tarefas que demandam um tempo aproximado de trinta dias, e são executadas, coletivamente, mediante a cooperação mútua entre os diferentes grupos domésticos. Além disso, a aquisição de equipamentos industrializados, como a serra elétrica, tem facilitado o trabalho de derrubada da vegetação de grande e médio porte. Cabe ressaltar que a preparação dos locais de roça tem uma conotação simbólica para os Asurini. Segundo Müller (1990:73), durante a derrubada da vegetação de grande porte é realizado o ritual Ká'i e oferecido mingau aos convidados que ajudaram na realização da tarefa (Fig. 3).



Fig. 3. O acampamento de roça e o início da derrubada da vegetação de pequeno porte.

Depois de derrubada a vegetação, eles esperam até três semanas, antes de efetuar a sua queima, pois é necessário que ela esteja bem seca. Esta é feita de fora para dentro e a favor do vento para evitar que a mata em volta seja atingida pelo fogo. Essa atividade também possui uma conotação simbólica, pois, segundo os informantes, durante esse processo eles devem gritar o nome do sobrenatural *Ai* que é o espírito responsável pelo bom desempenho no manejo do fogo. Além dessa entidade, os Asurini também fazem referência ao sobrenatural *Auará* que é o espírito que cuida da roça e que vem à noite para conferir se a queima realizada durante o dia foi bem sucedida (Fig. 4).



Fig. 4. O limite externo da roça após a queimada.

Após o uso do fogo e com o solo ainda coberto de cinzas é iniciado o plantio. Entretanto, em certas ocasiões, a queima pode não ser satisfatória, o que os leva a colocar amontoados de palha de babaçu no perímetro e no interior da roça, e o trabalho é refeito. Contudo, mesmo com uma queima bem sucedida é possível verificar a presença de troncos de árvores parcialmente queimados em meio aos quais serão plantadas as diferentes cultivares. Essa madeira remanescente será empregada como lenha no processamento dos alimentos na aldeia e acampamentos de roça (Fig. 5).



Fig. 5. A roça queimada.

O processamento dos recursos e preparo dos alimentos são de responsabilidade das mulheres. Os homens, eventualmente, podem auxiliar em tarefas como a fabricação de farinha, o descarte de um grande animal caçado (veado, anta) ou a obtenção de lenha para cozinhar.

Os Asurini apreciam os alimentos cozidos seja sob a forma de mingaus como já foi salientado acima com relação ao milho e à mandioca ou de caldos feitos com diferentes carnes de animais caçados (p.ex. anta, veado, porco do mato, paca e mutum) e peixes, que são sempre comidos com farinha. Eles também gostam das carnes assadas diretamente sobre um moquém ou enroladas no caso dos peixes em folhas de bananeira. As frutas são comidas em sua forma natural, às vezes com farinha (p.ex. banana) e, no caso da castanha e do coco, também podem ser misturadas a mingaus e cozidos. Eles também consomem alguns produtos industrializados, tais como açúcar, farinha de trigo, macarrão, arroz, café, azeite de soja, sal e leite em pó.

Todos os produtos obtidos nas atividades de subsistência, bem como os industrializados, são compartilhados, regularmente, entre os membros de um mesmo grupo doméstico nas refeições coletivas, que ocorrem diariamente. Integrantes de outros grupos também podem ser convidados a usufruir dessas refeições quando há o interesse em manter algum tipo de reciprocidade devido a um objetivo comum.

Conforme Müller (1990:64) salientou, entre os Asurini, o grupo doméstico é a “unidade básica da estrutura social, tanto por ser uma unidade social e política (tradicionalmente identificada com o grupo local), quanto por suas atividades de subsistência”. E, neste sentido, constitui-se, também, numa unidade econômica de produção e consumo, cujos membros mantêm relações de cooperação diária

para a execução das diferentes tarefas de obtenção e processamento dos recursos. As mulheres seriam as organizadoras dessa unidade econômica e social, sendo elas “a unidade básica de produção na sociedade Asurini” (Müller, 1990:84), cabendo aos homens “a circulação dos bens produzidos” (Müller, 1990:84). Em outras palavras, cabe aos homens a obtenção e distribuição dos alimentos e às mulheres o processamento destes (Fig. 6)



Fig. 6. Processando o alimento na aldeia.

Na aldeia, o espaço para o processamento dos alimentos é o doméstico, mais precisamente as áreas de cozinha. Nelas são mantidas pequenas fogueiras permanentemente em brasa, e as refeições podem ocorrer em qualquer hora do dia. Acúmulos de cinza são frequentes nessas estruturas de cozimento que, muitas vezes, podem ser deslocadas de um lugar para outro espalhando os seus vestígios por todo o espaço da cozinha (Fig. 7).



Fig. 7. Os vestígios das atividades de cozimento dos alimentos.

As refeições normalmente são coletivas e ocorrem em volta das fogueiras de cozimento e no espaço da cozinha. Ao término do repasto, é muito comum observarmos restos de alimento (p.ex. ossos de animais caçados e peixes) espalhados por toda a superfície do solo. Os animais domésticos aproveitam essas ocasiões para se alimentar, espalhando ainda mais esses vestígios pelo espaço doméstico.

O comportamento de descarte dos Asurini e a questão das lixeiras

Entre os Asurini, a dinâmica do descarte ocorre em consonância com os processos de limpeza das áreas de atividade. Com certa periodicidade, as áreas de cozinha e de descanso são varridas e uma grande e variada quantidade de materiais é depositada nas áreas de descarte (p.ex. cacos de cerâmica, restos de alimentos, objetos de cestaria, materiais industrializados etc). Essa concentração de materiais nas áreas periféricas da aldeia pode ser feita de forma intensiva, resultando em verdadeiros montículos de lixo ou, então, de forma extensiva, fazendo com que os vestígios fiquem espalhados no solo, como resultado da ação de animais ou dos próprios Asurini. Algumas vezes, é possível observar a presença de vegetação cobrindo as aglomerações de lixo (Fig. 8).



Fig. 8. Os acúmulos de materiais nas áreas de lixeiras.

Os Asurini também costumam incinerar periodicamente os materiais depositados nas áreas de descarte, o que também resulta em acúmulo de cinzas nesses locais (Fig. 9 e Fig. 10).

Cabe salientar que com o constante acúmulo de materiais orgânicos e o freqüente uso do fogo nas áreas de descarte, estas passam a apresentar um solo de coloração escura que se distingue do solo muito compactado e de cor amarelada que se observa nos demais espaços da aldeia, especialmente naqueles em que são realizadas as atividades cerimoniais e públicas (Fig. 11).



Fig. 9. Área de descarte com sinais de queima.



Fig. 10. Detalhe da área de descarte com sinais de queima.



Fig. 11. Vista da área de lixeira com o solo de coloração escura.

Conclusão

Os estudos etnográficos podem fornecer uma importante base de reflexão para o entendimento dos processos de formação de Terra Preta em áreas ocupadas por populações agricultoras na Amazônia. Aspectos como esses registrados entre os Asurini, relativos as suas atividades econômicas, comportamentos de descarte e utilização do fogo, são apenas alguns dos muitos exemplos de atividades culturais que podem ter gerado o aparecimento desse fenômeno que, indubitavelmente, é fruto da combinação de fatores humanos e naturais.

Os Solos e as Ciências Humanas: Interpretação do Passado

William Woods

Como resultado da ocupação humana, enormes áreas do planeta têm sido modificadas por mecanismos variados, levando à redistribuição e alteração do solo e outros materiais superficiais. Os sedimentos e os solos podem sofrer numerosas mudanças físicas e químicas em sítios de habitação humana. E o mais importante, nutrientes são concentrados através da deposição de detritos orgânicos e inorgânicos, sendo as maiores contribuições provenientes de produtos animais e vegetais trazidos ao local da habitação, seja para consumo direto pelo homem ou indireto através de animais domésticos, materiais de construção e combustíveis.

Animais são processados, seus ossos e vísceras descartados, e sua carne e sub-produtos são consumidos e eliminados, tudo isso nos arredores da habitação.

Processo similar acontece com as plantas, que concentram nutrientes em suas partes reprodutivas (nozes, frutos, sementes, tubérculos), as quais são justamente mais consumidas pelo homem.

De modo geral, em comparação com o *background* natural, os solos de sítios de habitações humanas exibem coloração escura anômala, valores mais altos de pH e maiores concentrações de vários nutrientes, as quais podem ser extraordinárias se o assentamento tiver sido intenso ou de longa duração.

Além de um conjunto de macro e micronutrientes, a intervenção humana frequentemente melhora outras propriedades do solo benéficas para as plantas, como a capacidade de troca catiônica, porcentagem de saturação em bases, retenção de umidade, condições de estrutura e atividade biológica (Fig. 1).



Fig. 1. Desenvolvimento inicial de um antrossolo por acumulo de resíduos. Santarém, Pará, Brasil. Observe a emergência de plantas domesticadas neste ambiente fértil.

Investigações da Química dos Solos como Ferramenta Auxiliar das Ciências Humanas

Embora agricultores de todo o mundo já houvessem reconhecido há muito tempo que antigas ocupações apresentavam solos férteis, foi somente no início do século 20 que as modificações químicas causadas no solo por atividades humanas passaram a ser vistas como evidências para o estudo de assentamentos abandonados.

A primeira aplicação pode ser encontrada em trabalho de Friedrich Katzer sobre a terra preta do Baixo Amazonas, publicado em 1903.

Em 1915, Russell relatou que a distribuição de detritos e a presença de fósforo residual no solo ao redor de antigos assentamentos indicavam que a incorporação de restos animais e humanos ao sistema de agricultura no Egito ocorrera muito cedo.

Rapidamente, geógrafos, historiadores e arqueólogos, assim como cientistas do solo e geólogos, apoiaram-se nesses relatos iniciais e demonstraram que a distribuição diferencial de modificações

químicas e físicas do solo poderia ser usada na interpretação tanto de antigas habitações como de histórico de uso do solo. Nesse contexto, as questões aqui enfocadas são principalmente humanas, sendo os solos tratados essencialmente como artefatos.

As indicações do Fósforo

Estudos iniciais enfocaram o fósforo como um indicador-chave de atividades antrópicas e ficaram restritos a investigações no norte da Europa.

Dois aspectos são responsáveis pela validade do uso do fósforo na identificação de contextos arqueológicos. O elemento, na forma de fosfatos, está presente na maior parte dos restos culturais depositados em sítios de ocupação humana (ex. Woods 1977), uma vez que urina, plantas, tecidos animais e, principalmente, ossos, contêm grandes quantidades do elemento.

Essas adições culturais à matriz do solo são não apenas prontamente identificáveis, como são também rapidamente imobilizadas e mantêm grande estabilidade lateral e vertical ao longo do tempo na maior parte das situações pedológicas.

Consequentemente, as discussões que se seguem a respeito da evolução do conhecimento sobre os antrossolos são direcionadas a estudos enfocando os fosfatos, seguindo-se referências específicas a alterações antropogênicas de outras características do solo.

As interpretações de Olaf Arrhenius (1929, 1931, 1934) sobre um levantamento de larga escala da química do solo na Suécia, nos anos 20, representaram a primeira aplicação extensiva dos conceitos de fertilidade do solo ao estudo de assentamentos abandonados e usos pretéritos da terra. Esse autor demonstrou que a ocupação humana de uma área provoca mudanças químicas no solo através da deposição e decomposição de restos orgânicos e inorgânicos, e que a distribuição diferencial das alterações químicas resultantes pode ser usada na interpretação tanto de habitações pretéritas quanto de histórias de uso da terra.

Nos anos 20, a Companhia Sueca Manufatureira de Açúcar realizou um amplo levantamento do solos no sul da Suécia com o intuito de determinar suas potencialidades para o plantio de beterraba. Inicialmente, somente o pH do solo foi estudado, porém logo outras propriedades pedológicas foram consideradas, entre elas o teor de ácido fosfórico ou fosfato. No total, 500.000 amostras provenientes de meio milhão de hectares foram analisadas (Arrhenius 1934:29).

Dispondo-se os resultados em mapas, observou-se que as maiores concentrações de fosfato no solo derivavam de três fontes: rochas, cuja principal forma de fosfato é o mineral apatita; plantas, algumas das quais possuem teores elevados de fosfato; e humanos, através de adições culturais e assentamentos.

Arrhenius, trabalhando no levantamento de solos, primeiramente relatou a relação entre enriquecimento do solo em fosfato e atividades humanas após constatar sua utilidade na detecção de assentamentos abandonados (Arrhenius 1929, 1931). O autor localizou assentamentos da Idade da Pedra, dos Vikings, dentre outros, observando o aumento dramático do conteúdo de fosfato no solo desses sítios.

Análises adicionais revelaram ser possível ainda traçar antigos caminhos e estradas utilizando-se dos teores de fosfato.

Em 1932, Schnell aplicou a técnica de Arrhenius e enfocou locais específicos na Suécia. Ao coletar amostras a intervalos regulares ao longo de transectos cortando um sítio, analisar essas amostras para fosfato e plotar os resultados em mapa, esse autor pôde estabelecer contornos de fosfato. Gráficos semelhantes foram preparados a partir da frequência de cacos de cerâmica coletados ao longo dos transectos. A comparação entre os dois gráficos demonstrou um alto grau de coincidência entre teores de fosfato e número de cacos, indicando uma clara correspondência entre enriquecimento químico e intensidade de uso do solo (Clark 1970:21-22).

Dois anos depois, Christensen desenvolveu estudos adicionais na Dinamarca, coletando amostras de solo no local da vila medieval de Stokkerup, que havia sido destruída no século 17. Análises dos teores de fosfato demonstraram, em média, um enriquecimento de 10 vezes na área da antiga vila e de duas vezes nos antigos campos cultivados (Christensen 1935:45-46). O autor também investigou sítios do início da Idade do Ferro e uma fortaleza Viking, encontrando evidências da eficiência do método mesmo em assentamentos ocupados por curto período de tempo (Daunay 1952:34).

A primeira indicação de que a técnica de Arrhenius poderia ser empregada fora do norte da Europa veio da Indochina Francesa onde, em 1939, dois cientistas franceses utilizaram o teor de fosfato no solo como indicador de antigas habitações na região do Golfo de Tonkin (Anonymous 1941:512-513; Castagnol 1939).

Quatro anos mais tarde, nos solos lateríticos da mesma região, Pendleton observou que áreas de antigas vilas nas florestas do nordeste da Tailândia exibiam uma vegetação excepcionalmente desenvolvida e concentrações muito altas de fosfato (Pendleton 1943:37).

Após os trabalhos iniciais de Arrhenius, provavelmente a contribuição mais importante para o método de análise de fosfato em assentamentos humanos tenha sido dada por Walter Lorch (1938, 1939a, 1939b, 1940), que desenvolveu uma metodologia laboratorial simplificada para teste e forneceu instruções detalhadas para amostragem e procedimento no campo. Durante as duas décadas seguintes, esse autor continuou seus trabalhos pela Alemanha e leste da Europa (*e.g.* Lorch 1954), seguindo em grande parte as linhas gerais expostas em seu clássico artigo de 1940, onde é apresentada a teoria segundo a qual assentamentos de diferentes economias resultam em padrões característicos de distribuição de fosfato. Comparando perfis obtidos em diferentes áreas de ocupação, o autor foi capaz de distinguir economias particulares e até mesmo mudanças na economia de um mesmo sítio. Como um simples exemplo, tem-se a diferença na distribuição de fosfato entre um assentamento da Idade da Pedra, onde os resíduos estão concentrados em um espaço restrito, e uma ocupação agrícola moderna, que espalha os esterco sobre uma área muito mais extensa.

Vários outros pesquisadores utilizaram os métodos de Lorch no estudo de assentamentos europeus. Bandi localizou uma vila medieval na Suécia (Schwarz 1967:61), enquanto Guyan (1952:8-9) observou um aumento dramático no teor de fosfato em um conhecido sítio medieval. Em 1958, Schmid investigou perfis de solo em cavernas na Europa que haviam sido previamente utilizadas para habitação (Schwarz 1967:61).

Durante as décadas de 40 e 50, o Departamento de Arqueologia da Universidade de Birmingham foi assessorado por Christensen na aplicação do método do fosfato em sítios ingleses.

Estudos em vilas medievais em Nottinghamshire forneceram concentrações de fosfato duas vezes maiores que as observadas em terras agrícolas modernas circundantes. Análises de fosfato em um acampamento romano revelaram um anexo, ou conjunto de edifícios externos, que não haviam sido detectados em análise de fotos aéreas (Dauncey 1952:35-36).

No Hemisfério Ocidental, somente em 1948 foi realizado o primeiro estudo arqueológico envolvendo análises de fosfato, desenvolvido por Solecki (1951, 1953) em West Virginia. O autor analisou 30 amostras de solo, provenientes de várias feições no interior ou nas proximidades de uma elevação pré-histórica de sepultamento. Durante as escavações, Solecki havia notado várias áreas escuras ou manchas no solo, que supôs serem sepultamentos dos quais a matéria esquelética havia se desintegrado no solo altamente ácido. Conhecedor do trabalho de Arrhenius, Solecki investigou os teores de fosfato, que se mostraram elevados nas áreas de possível sepultamento.

Lutz (1951:925) amostrou duas vilas no Alaska e determinou os teores de fosfato solúvel, nitrogênio, potássio e cálcio, que se mostraram enriquecidos em maior ou menor escala nas zonas de ocupação. O enriquecimento em fosfato foi de 50 a 175 vezes.

Dietz (1957) utilizou uma malha de amostragem de 25 x 25 pés (7,5 x 7,5m) para construir mapas de concentração de fosfato disponível nas proximidades de um sítio arqueológico conhecido. A área de ocupação intensa pôde ser claramente reconhecida pela quantidade de artefatos recobrimo o solo e

pela distribuição de fosfato, ao passo que a área que não havia sido habitada caracterizava-se pela escassez de artefatos e teores uniformemente baixos de fosfato.

Os estudos de Cruxent (1962) em uma série de fogueiras (*hearths*) paleo-indígenas próximo a San Diego, Califórnia, representaram uma extensão do método para uma possível antiga ocupação humana no Hemisfério. No entanto, a ausência de diferenças significativas entre os teores de fosfato de áreas supostamente habitadas e não habitadas levou o autor a concluir que os *hearths* provavelmente não representavam feições ocupacionais.

Durante o mesmo período na Europa, Arrhenius dava continuidade a seus estudos com o mapeamento dos teores de fosfato em terras aráveis em Gotland, com ênfase em assentamentos das idades da Pedra, Bronze e Ferro. Mapas em larga escala de habitações e outros tipos de ocupações puderam ser elaborados e, entre outros resultados, esse estudo revelou a deterioração das condições agrícolas e uma migração dos assentamentos de regiões argilosas para áreas de solo rico em silte durante os últimos 600 anos (Arrhenius 1955:1062).

Muitos anos depois, Arrhenius, em visita aos EUA, coletou amostras de vários sítios aborígenes e históricos, entre a Califórnia e Oklahoma. Os resultados das análises de fosfato mostraram que as práticas agrícolas pré-européias causaram o empobrecimento do solo ao redor das vilas, provavelmente devido à remoção das colheitas dos campos sem nenhum retorno de nutrientes (Arrhenius 1963:33).

Outros Indicadores Antrópicos Importantes

Além do fosfato, diferentes compostos de carbono, nitrogênio e cálcio encontram-se entre os aditivos químicos mais comuns em sítios de ocupação humana, podendo apresentar incrementos anuais expressivos (Cook & Heizer 1965:8).

A seguir, serão descritos a origem e significado de dois indicadores antropogênicos resultantes de alterações culturais do solo.

Cor

Uma das características do solo mais frequentemente utilizadas em arqueologia, a cor é basicamente o resultado do conteúdo de matéria orgânica, dos teores de carbonato de cálcio e da concentração e estado de oxidação do ferro e manganês. A cor também é influenciada pela presença de cinzas, carvão e materiais terrosos oxidados. Embora prontamente determinada, a cor do solo varia com o teor de umidade, condições de iluminação, tempo de exposição ao ar, temperatura, assim como com a percepção variável de cada observador. Aplicações arqueológicas da coloração do solo incluem a identificação de feições, a delimitação de zonas de preenchimento em feições, a distinção de horizontes em sedimentos e “lixeiros” (Lee 1968), e como uma técnica de datação relativa (Carter 1956, 1957). Carter relata que solos de ocupação são consistentemente mais escuros que solos naturais devido a enriquecimento orgânico e acúmulo de húmus causados por cultivo de plantas, mas observa também que ocorre uma perda contínua da cor escura ao longo do tempo (1956:307-309).

Cornwall (1958:183) atribui a cor branca em depósitos culturais principalmente à presença de carbonato de cálcio e cinzas. A coloração vermelha geralmente resulta da lenta oxidação do ferro durante o intemperismo, porém nas proximidades de antigas fogueiras ou fornos e outras fontes de calor intenso, a limonita de cor ocre presente no solo pode ser convertida em hematita, produzindo desse modo um solo vermelho cozido característico (Cornwall 1958:101). No entanto, conforme enfatizado por Limbrey (1975:325), se o conteúdo de matéria orgânica no solo for elevado ou se o suprimento de oxigênio for insuficiente, o ferro permanecerá em sua forma reduzida e a coloração vermelha não surgirá, mesmo com a aplicação de calor.

pH

Buol *et al.* (1973:301) consideram a determinação do pH “provavelmente a medição química mais importante que pode ser feita no solo”. Embora esses autores não se refiram especificamente a contextos sob influência humana, aqui também as relações de pH do solo são de grande importância, devido principalmente ao fato de o pH estar intimamente relacionado a outros critérios químicos do solo.

Em arqueologia, o valor de pH tem sido utilizado na determinação da antiguidade relativa de perfis culturais e naturais (Parsons 1962), na definição de limites de sítios (Zabel 1976), na identificação de zonas estratigráficas pouco definidas em lixeiras (Deetz & Dethlefsen 1963) e na delimitação de áreas de solos recentemente modificados (van der Merwe & Stein 1972).

Aumentos no pH do solo devido à atividade antropogênica são atribuídos principalmente à presença de cinza vegetal, cujos componentes, em grande parte alcalinos, incluem carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio, sulfato de cálcio, sais de ferro e magnésio, e carbonatos e hidróxidos de sódio e potássio (Dowman 1970:24). Segundo Limbrey (1975:328), a presença de cinza vegetal pode impedir o estabelecimento de condições ácidas decorrentes da decomposição de resíduos orgânicos. Além disso, a preservação diferencial de ossos pode ser em grande parte explicada por variações de pH.

Carbonatos

Em depósitos de ocupações humanas, a cinza é provavelmente a maior fonte de carbonatos, cujos altos teores são reportados por Buehrer (1950:24), Eddy & Dregne (1964:16) e Dowman (1970:24). Embora haja a tendência em associar carbonatos com depósitos de conchas (sambaquis), Cook & Treganza (1947:140-141) analisaram solos de duas lixeiras (*middens*) na Califórnia, um rico em conchas e outro sem, e observaram altos teores de carbonato em ambos. Esse resultado não explicado pelos autores deve-se provavelmente à acumulação de cinza vegetal nos dois sítios. Adições menores de carbonato podem também resultar da decomposição de plantas e restos animais por bactérias (Buehrer 1950:562; Cook & Heizer 1962:15-16).

Carbono e nitrogênio

Tanto carbono quanto nitrogênio podem ser utilizados como indicadores do conteúdo de matéria orgânica do solo. Em condições de boa aeração do solo, a maioria das substâncias orgânicas sofre rápida decomposição química e biológica (Cornwall 1960:270), especialmente quando as substâncias orgânicas não sofrem soterramento rápido que resulte em sua transformação em uma massa compacta pobre em oxigênio (Limbrey 1975:328).

Von Stokar (1938) demonstrou primeiramente que, além de produtos pirolíticos, outros materiais orgânicos podem manter-se preservados em determinados ambientes em solos de regiões úmidas. De maneira similar, as investigações de Buehrer (1950:562) indicaram que alguns produtos intermediários de decomposição, tais como ácidos orgânicos, poder-se-iam formar e persistir no solo por longos períodos, embora a proliferação de organismos em condições de solo bem aerado e úmido favoreça a decomposição biológica (Dowman 1970:28). Deve-se considerar também que o nitrogênio é particularmente susceptível à volatilização por queima (Limbrey 1975:121).

Em resumo, a matéria orgânica encontrada em antrossolos consiste principalmente da combinação dos produtos resultantes da combustão incompleta de vegetais, restos de plantas e animais humificados, alguns produtos intermediários de decomposição e restos de adições recentes ao solo.

Cálcio, potássio e magnésio

Adições culturais de cálcio podem derivar de excrementos humanos e animais e de vários resíduos orgânicos e inorgânicos (Cook & Heizer 1962:13). Dentre as várias fontes possíveis, os ossos apresentam as maiores concentrações de cálcio, atingindo teores de 260.000 ppm (Bowen 1966:178), seguindo-se então tecidos macios animais, excrementos e material vegetal como fontes potenciais.

Na maioria dos sítios arqueológicos, a cinza proveniente de material vegetal constitui a maior fonte de cálcio pois, embora tanto vegetais frescos quanto incompletamente queimados sejam depositados em quantidade em assentamentos humanos, as concentrações de cálcio na cinza vegetal são muito maiores (pelo menos uma ordem de grandeza) do que em tecidos vegetais desidratados (Wise 1944:43).

Buehrer (1950:554) atribuiu as altas concentrações de potássio e magnésio em sedimentos da Caverna Ventana a acumulações de cinza vegetal, enquanto Eddy & Dregne (1964:14-16) empregaram o teor de potássio como indicador da presença pretérita de cinza vegetal em sítios arqueológicos. O magnésio também mostrou-se um excelente indicador para lentes de cinzas em um sítio em Ontário (Huron Village Site) (Heidenreich & Navratil 1973:25).

Embora a cinza vegetal seja aparentemente a fonte primária de potássio e magnésio em depósitos culturais, pode haver ainda adições consideráveis a partir de urina humana, vegetais secos e tecidos animais (Kimber *et al.* 1966:687; Bowen 1966:68-71, 101).

Ferro, Cobre e Zinco

O teor e o estado de oxidação do Ferro são há muito reconhecidos como indicadores importantes em estudos de gênese e classificação de solos (Buol *et al.* 1973). Limbrey (1975:329-330) observou que crostas ferruginosas formam-se frequentemente no interior e abaixo de depósitos de ocupação, e que análises do elemento podem ser úteis na distinção entre camadas de diferentes texturas e graus de compactação, ou ainda na definição de limites entre níveis em depósitos de ocupação.

Os teores naturais de Ferro no solo são geralmente elevados, e aparentemente não sofrem grande elevação pelo efeito de adições culturais, exceto em sítios onde artefatos de ferro e destroços são depositados. Essas adições observadas em restos de ocupações pré-européias no Novo Mundo provêm aparentemente de material fecal (Bowen 1966:101), com apenas pequena porção sendo oriunda de cinzas, restos de acampamentos, etc. Por esse motivo e devido ainda à sua grande mobilidade, o Ferro não tem sido muito utilizado como um indicador de assentamentos em estudos arqueológicos de solos.

Ao contrário do Ferro, os elementos Cobre e Zinco são encontrados geralmente em pequenas concentrações no solo. Em assentamentos humanos, as fontes para os dois elementos incluem tecidos vegetais e animais (Bowen 1966:68-71) e urina (principalmente Cobre) e fezes humanas (Zinco) (Bowen 1966:101) e, embora apenas traços sejam excretados, teores significantes de Cobre e Zinco podem resultar de ocupações intensas ou por longos períodos de tempo. Sokoloff & Carter (1952) analisaram amostras coletadas em três lixeiras (**midden**) depósitos de sítios arqueológicos na Flórida e concluíram que a concentração de Cobre diminui dramaticamente com a idade do depósito, e que após aproximadamente 2.000 anos os teores do elemento aproximam-se de valores de solos culturalmente estéreis. Os dados daqueles autores indicam ainda que o Zinco é mais estável, portanto refletindo melhor eventos de ocupação ao longo do tempo.

Dois Exemplos Europeus de Antrossolos: Terras Pretas (Les Terres Noires) e Plaggen

Até o momento, vimos que a atividade deposicional humana pode resultar no enriquecimento do solo e no desenvolvimento de antrossolos. A próxima questão refere-se à intencionalidade ou não deste enriquecimento. A seguir, dois tipos de solos com propriedades similares, depositados no noroeste da Europa entre o Período Romano e a Idade Média, fornecem evidências distintas dessas duas possibilidades.

No início do Século 20, escavações na muralha romana que um dia cercou Londres revelaram a existência de extensos depósitos de sedimentos escuros, denominados “terras criadas” (Norman & Reader 1912), acumulados entre o Período Romano e o Século 13, conforme se deduziu do estudo dos materiais inclusos e superposição de camadas. Após essa descoberta, solos semelhantes foram identificados na região Noroeste da Europa. Esses sedimentos, comuns em contextos galo-romanos e início do Período Medieval, são denominados “Terra Preta” ou “Les Terres Noires” (Verslype & Brulet 2004), e resultam da nucleação de populações dentro de muralhas fortificadas de pedra ou madeira. Análises químicas e microscópicas revelaram a origem cultural desses solos, formados em sua grande parte a partir da decomposição das paredes e telhados de palha das moradias, cinzas vegetais, carvão e restos domésticos, humanos e animais (Courty *et al.* 1989:261-268). A formação desses solos foi acidental, não intencional. Processos pós-deposicionais de biopedoturbação geralmente obscureceram as relações estratigráficas dentro dos depósitos. Uma vez que esses sítios frequentemente desenvolveram-se e transformaram-se em grandes complexos urbanos, os solos férteis que se formaram a partir das “Terras Pretas Europeias” raramente foram utilizados para a agricultura; ao contrário, foram recobertos pelos restos de ocupações posteriores. Artefatos, incluindo cerâmica, são abundantes em muitos contextos.

Geneticamente em contraste com as Terras Pretas Europeias encontram-se os “Plaggens” ou “Solos Construídos” (built soils), de mesma idade e provenientes da mesma região da Europa que os Solos Feitos (Niemeier & Taschenmacher 1939; Niemeier 1972). Derivado da palavra alemã para torrão, os Plaggens foram produzidos em áreas de solos originalmente muito pobres, e atualmente recobrem uma extensa área do noroeste da Europa, desde o norte da Bélgica até Jutland, e também porções da Irlanda, Noruega, Escócia e ilhas Shetland e Orkney (Adderley *et al.* 2000; Conry 1974; Groenman-van Waatering & Robinson 1988; Pape 1970). Os pequenos agricultores e monges, responsáveis pelo desenvolvimento desses solos, utilizavam-se de materiais variáveis, dentre os quais constavam geralmente *sods*, liteira da floresta, areia calcárea, lama da limpeza de fossos, resíduos de estábulos e estrume, restos domésticos, cinzas, carvão e dejetos humanos. Esses solos intencionalmente criados caracterizam-se pela presença de um horizonte espesso e escuro, que foi elevado em relação à superfície original e, devido à alta fertilidade, são ainda intensivamente cultivados. Restos de artefatos são encontrados, porém em menor quantidade em relação às Terras Pretas.

As Terras Pretas da Amazônia

A parte inicial deste capítulo reviu alguns aspectos da discussão ocorridas nos primeiros 80 anos do século XX através da interação entre as ciências humanas e ciências biofísicas com o solo e passado como objeto de estudo. Com os recentes desenvolvimentos e aplicações de sofisticadas técnicas de análises um grande avanço tem sido feito na caracterização e interpretação dos solos antrópicos. A integração das ciências humanas e biofísicas tem sido essencial para possibilitar as investigações neste tópico. Um exemplo onde este tipo de cooperação vem tendo grande sucesso e na interpretação dos anomolos antrossolos chamados de Terra Preta de Índio (Indian black earth) ou Amazonian Dark Earth (ADE) (e.g., Glaser e Woods 2004; Lehmann *et al.* 2003).

Pelo menos, mas provavelmente bem antes do advento da era cristã, modificações do ambiente incluindo verdadeiro sedentarismo baseado na utilização de sistemas agroflorestais e cultivos

envolvendo uma série de espécies domesticadas e semidomesticadas estavam presentes em muitos assentamentos nas terras baixas da Amazônia, e numerosos grupos estavam vivendo numa complexa rede sociopolítica. Em adição a especializada manipulação de ambientes específicos, modificações das condições do solo em larga escala podem ser associadas a estas civilizações. Como resultado são encontradas áreas com elevada fertilidade, os solos antrópicos que ocorrem por toda a bacia Amazônica.

O aumento da atividade biótica e da capacidade de retenção de nutrientes feito pela deposição de carvão vegetal e matéria orgânica pode ser o principal responsável pela notável persistência desses solos por um longo período após o término de seu manejo cultural.

Por que estes solos têm passado despercebidos pelos pesquisadores? O “culpado” é claramente a tirania de escala. Nenhum mapa da Bacia Amazônica apresenta estes solos; expansões individuais raramente excedem poucos quilômetros quadrados e geralmente envolve áreas muito menores. No entanto, quando estes são considerados sua expansão cumulativa é enorme.

Friedrich Katzer (1903) reconhece a fertilidade desses solos e afirma que “a maior riqueza peculiar da região encontra-se nesses solos” e observou uma área maior que 50.000 hectares de *Schwartzerde* em área de terra-firme entre os rios Tapajós e Curua Una; aproximadamente 5% da área total no centro da região do Baixo Amazonas da cultura de Santarém. Este não é o único exemplo; terras pretas se estendem acima da região do Tapajós até ao sul e na direção oeste do Amazonas. Deve-se lembrar que se você não procurar por algo não irá encontrar e por quase todo lugar os investigadores têm encontrado recentemente terras pretas. Wim Sombroek, com base em um levantamento realizado no estuário do rio Xingú estimou a presença de mais de 10.000 hectares de terras pretas ou aproximadamente 3% da área total. Dirse Kern encontrou áreas relativamente densas de terras pretas próximas a Costa do Atlântico, ao longo do curso d'água na região do Baixo Amazonas, e em Trombetas; assim como Eduardo Neves, Mike Heckenberger e Jim Petersen na confluência da região dos Baixos rios Negro e Solimões. Relatórios provenientes do Marajó, Rondônia, Mato Grosso, Bolívia, Peru, Colômbia, Suriname e Guianas apontam uma ampla distribuição e uma imensa área cumulativa desses solos antropogenicamente enriquecidos.

Apesar da documentada ocupação milenar, esta não foi relativamente antiga em relação à sequência pré-européia, talvez 2500 anos atrás, que é observado o crescente aparecimento de terras pretas amazônicas. E, aproximadamente ao mesmo tempo em diversos lugares da região depósitos de terra preta são formados. Por quê? Pela impossibilidade de observar mudanças climáticas ou até mesmo explicações regionais como massivos eventos vulcânicos, a única fonte de explicação está relacionada com atividades humanas. Fisicamente e quimicamente a resposta é simples, a taxa de deposição de materiais de origem antrópica excede àqueles perdidos por volatilização, lixiviação, e erosão. Nas várzeas amazônicas, onde o processo de intemperismo é 100 vezes maior que na latitude média Européia, esta não é uma proeza pequena. Claramente, assim que se teve o início de formação das terras pretas, a intensidade e duração de habitação atingiram o começo de uma acumulação positiva. A intensidade é aqui traduzida em deposição e materiais por unidade de área uma aproximação para a densidade populacional de uma determinada área) e duração é o comprimento total de materiais que foram depositados.

Evidências fortemente suportam a ideia de que terras pretas são depósitos culturais criados a partir da adição de dejetos ao redor das áreas habitadas e da manipulação de aditivos orgânicos em áreas associadas ao cultivo. O fogo é um componente crucial na formação desses solos por contribuir na forma de carvão e cinza, o que aumenta o pH do solo e suprime a atividade tóxica do alumínio nas raízes das plantas e microbiota do solo. O consequente aumento da atividade microbiana adiciona produtos orgânicos decompostos na matriz do solo formando complexos organominerais. Estes, juntamente com bioprodutos incompletos da combustão, fornecem superfícies carregadas que são largamente ausentes nos solos locais e aumentam a capacidade de retenção de nutrientes, permitindo assim a continuidade de um ciclo sinérgico de fertilidade. A imensa capacidade produtiva dessa expansão de solos férteis pode ser traduzida numa escala real de produção? No momento presente, a

resposta é “Sim, mas em grau desconhecido, apesar das implicações em se estimar populações relacionadas com mudanças ambientais. “Por que o equívoco?”. Voltando para os dois exemplos dos antrossolos europeus para ajudar a responder a essa questão. Aqui nós temos duas entidades física e química similares (terra preta e *plaggen*) que sustentam diferente trajetórias de desenvolvimento e uso (sem intenção / sem agricultura e intencional / com agricultura, respectivamente). A interpretação e discriminação de cada uma dessas entidades têm sido possível por estudos em seu contexto relativo e análises associadas ao perfil micromorfológico e de sinais químicos.

Nas Terras Pretas de Índio a situação é ainda mais complexa. Não somente não há úteis registros históricos, mas existe uma sequencia de expressões extremas dessas entidades, por um lado tem-se a “verdadeira” terra preta e por outro a forma conhecida como terra mulata (Sombroek 1966; Woods and McCann 1999). Terra preta é caracterizada por altas concentrações de determinados elementos químicos (e.g. P, Ca, K, Cu, Zn) que estão associados a atividades por habitações humanas, elevadas concentrações de matéria orgânica e *black carbon*, e abundante artefatos culturais, i.e. Características de resíduos (*midden*) ; enquanto terra mulata não aparenta estar diretamente associada com habitação por apresentar poucos materiais culturais e os elementos indicativos e espaciais são periféricos para a formação de sítios de ocupação. No entanto, contêm níveis elevados de matéria orgânica e *black carbon*.

Wim Sombroek (1966:175) foi o primeiro a sugerir que as *terras mulatas* foram criadas por cultivos de longo prazo e sua posição próximo dos assentamentos pré-Colombianos reforçam esta interpretação (Fig. 2). Períodos de uso diferenciado (habitação, cultivos, agrofloresta, cerimonial, etc.) e períodos de abandono, reocupação e episódios de deflação e acreção no mesmo local dificulta sua interpretação.

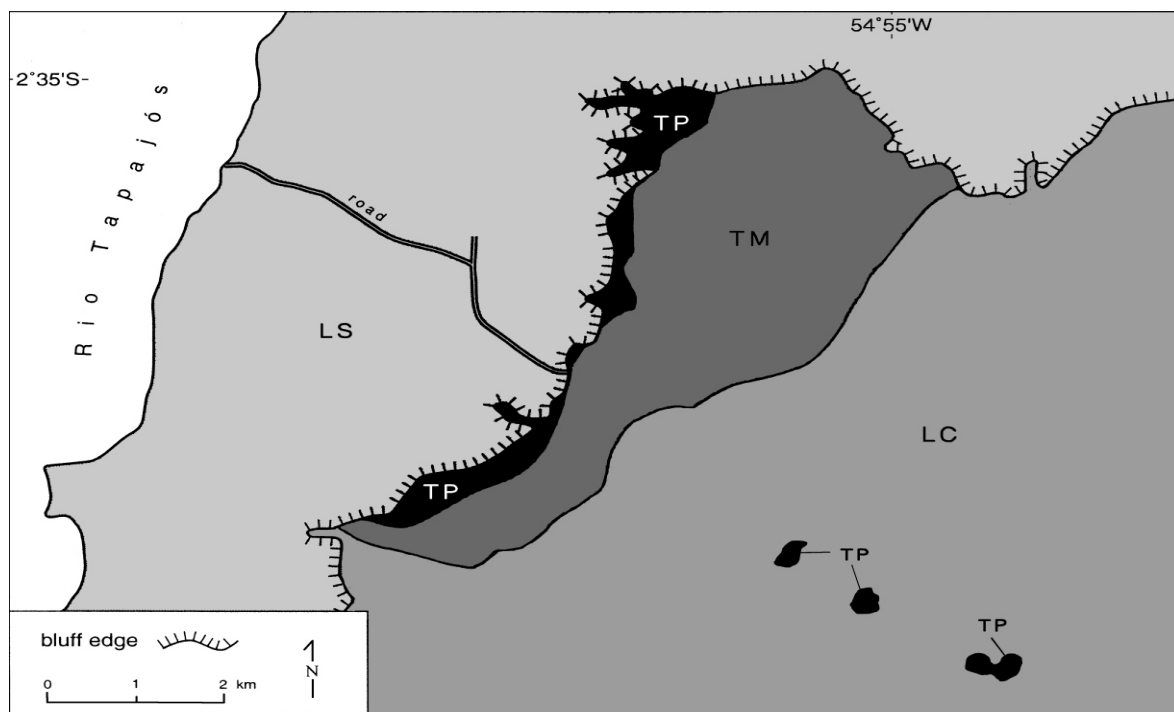


Fig. 2. Mapa mostrando o barranco de Terra Preta, cerca de 200 há, ao longo do Plato de Belterra adjacente ao rio Tapajós, Pará, Brasil. A area de Terra Mulata (cerca de 1.000 ha) mais no interior. Note as pequenas manchas de Terra Preta além da área do barranco. TP Terra Preta; TM Terra Mulata; LS Latossolo textura arenosa (sandy); LC Latossolo argiloso (clayey). (Adaptado de Sombroek, 1966).

Conclusões

Muitas questões ainda não estão totalmente respondidas com relação à origem, distribuição, variação e o uso passado e potencial das Terras Pretas de Índio da Amazônia, dado este contexto a continuação das pesquisas com estes solos é altamente significativo. Este tópico de pesquisa tem recebido atenção no Brasil e isto tem sido reconhecido mundialmente. Atualmente, ao invés de uma simples curiosidade arqueológica, estas áreas são vistas por uma grande variedade de disciplinas como um componente essencial das discussões de processos sustentáveis na Amazônia no passado, no presente e no futuro, e somente através de uma relação integrada e multidisciplinar entre as ciências naturais e humanas nos poderemos compreender os mecanismos envolvidos na modificações destes solos.

Parte II

As Terras Pretas de Índio na Amazônia

Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio

Dirse Clara Kern
Nestor Kämpf
William I. Woods
William M. Denevan
Marcondes Lima da Costa
Francisco Juvenal Lima Frazão
Win Sombroek in memoriun

A Amazônia é, com frequência, vista como um ambiente uniforme de alta pluviosidade e altas temperaturas, representado pela floresta tropical úmida densa com solos ácidos e pobres em nutrientes. Na realidade, as condições ambientais na Amazônia são muito mais diversificadas, e a ampla diversidade das condições climáticas é acompanhada por variações na vegetação, nos tipos e nas propriedades dos solos (Sombroek, 2000). Evidências arqueológicas indicam que atividades humanas antigas nos habitats amazônicos transformaram significativamente as paisagens na vizinhança dos seus assentamentos, notadamente no pré-histórico tardio. Um registro marcante a respeito disso são as áreas de solo que foram afetadas pelo homem pré-histórico, que apresentam cor escura, restos de material arqueológico (fragmentos cerâmicos e de artefatos líticos) e alto teor de Ca, Mg, Zn, Mn, P e C. Em função da coloração escura da camada superficial, tais solos são conhecidos como *Terra Preta Arqueológica* (TPA), *Terra Preta de Índio* (TPI) ou *Terra Preta* (TP), além de uma variante menos divulgada, a *terra mulata* (Sombroek, 1966; Kern & Kämpf 1989). A coloração escura deve-se principalmente à presença de material orgânico decomposto, em parte na forma de carvão residual de fogueiras domésticas e da queima da vegetação para uso agrícola do solo. Os elevados teores de C orgânico, bem como os de P, Ca e de Mg, são resultantes da deposição de cinzas, resíduos de peixes, conchas, caça, dejetos humanos, entre outros compostos orgânicos. Por essa razão, a fertilidade química da TP é significativamente superior à maioria dos solos amazônicos não perturbados pela atividade humana pré-histórica, geralmente ácidos e pobres em nutrientes (Rodrigues, 1996; Kern & Kämpf, 1989; Woods & McCann, 1999; McCann et al., 2001; Lima et al., 2002). Os sítios de TPs podem estar circundados por solos de cores bruno-acinzentadas, também com alto teor de C orgânico, porém com teores de P e Ca mais baixos, e com pouca incidência ou mesmo ausência de artefatos culturais. As características desses solos também diferem das apresentadas pelos solos não perturbados adjacentes, que são interpretadas como resultado de atividade agrícola pré-histórica, permanente ou semipermanente, sendo identificados como solos *terra mulata* (TM) (Sombroek, 1966). Os sítios arqueológicos com TP estão comumente localizados ao longo de rios e interflúvios, ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes e terra firme. A localização desses assentamentos favorece o acesso aos recursos de diferentes ambientes, além do controle das vias de acesso e visibilidade para defesa (German, 2004). A ocorrência de TPs é ampla na Amazônia Brasileira, sendo estas também conhecidas na Colômbia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela. Sombroek et al. (2003) estimam que as TPs cobrem 0,1% a 0,3% ou 6 mil a 18 mil km² da Bacia Amazônica (6 Mi. km²), mas se tem estimativa de 1% ou mais. Com o avanço das pesquisas sistemáticas na Amazônia, esses números podem ser amplamente superados.

Pela alta fertilidade apresentada, as TP's são freqüentemente procuradas pelas populações locais para cultivos de subsistência, tais como mandioca, banana, milho, mamão etc. No fim do século XIX, a fertilidade desses solos já chamava a atenção de pesquisadores como Hartt e Katzer, entre outros. Porém, apenas no final do século XX é que as TP's têm despertado relevante interesse da comunidade científica. Atualmente estão sendo realizadas pesquisas multi e interdisciplinares por cientistas nacionais e de outros países, de diversas áreas do conhecimento como geógrafos, pedólogos, geólogos, geoquímicos, geoarqueólogos, arqueólogos, antropólogos, biólogos etc., gerando elevado número de artigos científicos. Os trabalhos desses pesquisadores foram discutidos nos anos de 2001 e 2002, em três conferências internacionais: Benicassim na Espanha (CLAG); no Rio de Janeiro e em Manaus (Brasil), culminando com a publicação de dois livros que versam especificamente sobre o tema (Lehmann et al. 2003 e Glaser & Woods, 2004), mostrando a importância das pesquisas sobre TP, tanto para o desenvolvimento agrícola, quanto para o conhecimento da pré-história da Amazônia e da mudança global do clima atual.

Distribuição das Terras Pretas na Amazônia

Os solos com Terra Preta na Amazônia estão distribuídos em praticamente todas as ecorregiões. Esses ambientes apresentam características bióticas e abióticas diferenciadas e normalmente coincidem com os grandes interflúvios (Fig. 1). A grande maioria dos sítios arqueológicos está localizada nas margens de rios, tanto os de águas brancas como Purus, Madeira, Juruá, Solimões e Amazonas; como os de águas claras, a exemplo do Trombetas, Tapajós e Mapuera; ou ainda nas margens de rios de águas negras como o Rio Negro, Urubu, Caxiuanã e Mapuá (Kern et al., 2003). Levando-se em consideração a representatividade das Terras Pretas nos mais diversos ecossistemas, pode-se deduzir que o homem pré-histórico, que produziu esses solos, teve condições de se adaptar aos diversos habitats.

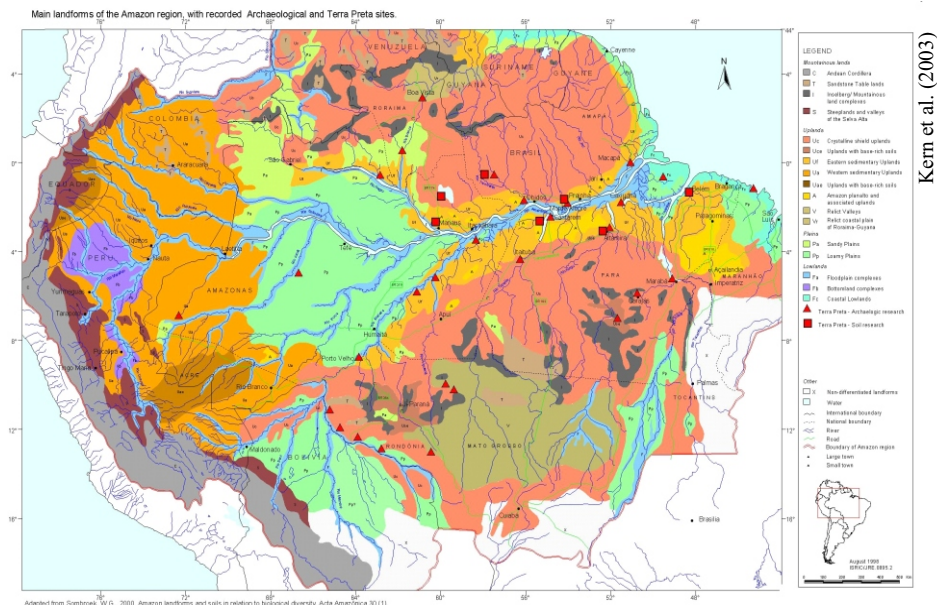


Fig. 1. Localização de sítios arqueológicos com Terra Preta na Amazônia.

Quanto ao posicionamento na paisagem, a maioria dos sítios arqueológicos analisados (n=270), está localizada no intervalo de 5 a 25 m de altura em relação à água corrente mais próxima (Fig. 2). Apenas 4% ocupam áreas mais elevadas que 40 m, como as TP's encontradas em bordas de platôs nas regiões de Oriximiná e Santarém, no Estado do Pará. Os sítios que estão até 2 m de altura, ou seja, quase

ao nível do rio, não chegam a perfazer 1% do total. Os sítios, nessa posição da paisagem, muitas vezes se encontram em áreas alagadas em determinado período do ano, o que pode estar relacionado com a utilização sazonal dessas áreas pelos povos pré-históricos.

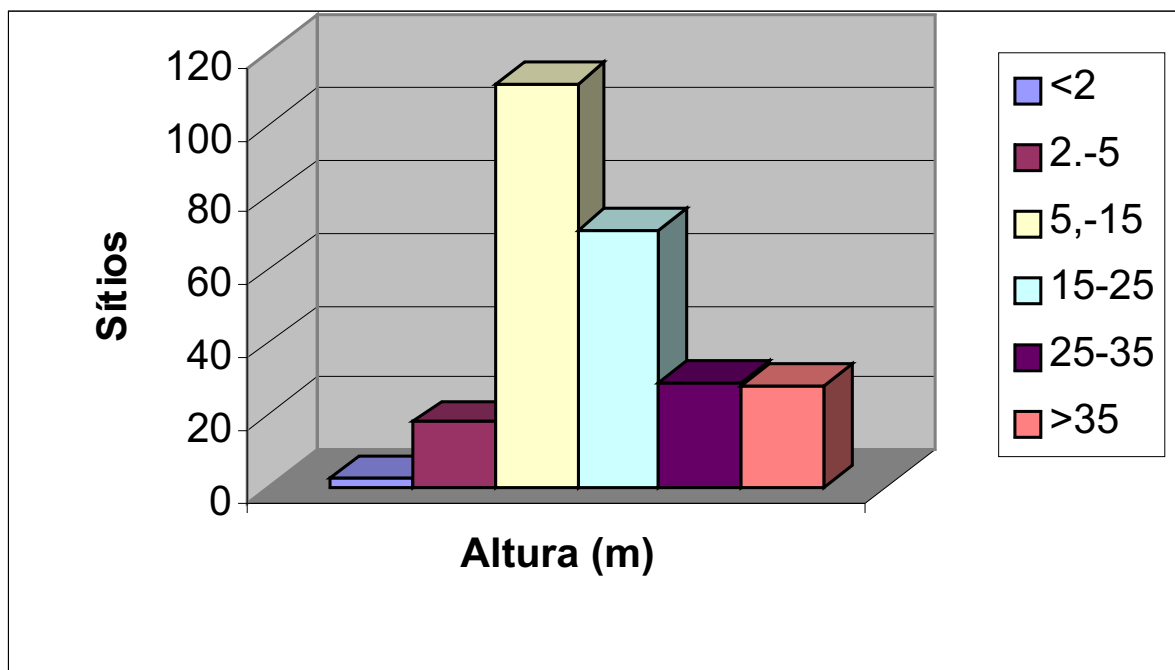


Fig. 2. Altura do sítio em relação à água corrente mais próxima.

No entanto, vale ressaltar que, geralmente, os levantamentos de sítios arqueológicos são efetuados com base em informação da população local devido às dificuldades inerentes à Região Amazônica. Assim, como as vias de acesso mais comuns são os cursos de água, é natural que a população tenha melhor conhecimento das margens dos rios e igarapés, não adentrando muito pelo seu interior. Com o avanço de pesquisas sistemáticas esse quadro pode alterar-se. Porém, com os dados que se tem até o momento, pode-se pressupor que as TPs em sua maioria localizam-se em terra firme, são solos bem drenados, próximos de água corrente e quase sempre em posição topográfica que permite boa visibilidade da área de entorno, fator importante para a estratégia de sobrevivência do homem pré-histórico. Esses locais, muitas vezes, foram reutilizados pelas populações locais desde a época do descobrimento, tanto para habitação como para área agrícola. Como exemplo de áreas atualmente urbanizadas, que eram antigos assentamentos indígenas, pode-se enumerar diversas cidades da Região Amazônica, entre elas Belém, PA. A cidade foi fundada em 1616, no local denominado Presépio, situado em uma superfície mais elevada em relação aos arredores, onde foi erguida uma fortaleza, hoje denominada de Forte do Castelo. Essa edificação está localizada na margem direita do Rio Pará, que corresponde à baía do Guajará. Deste ponto, antes da construção de prédios mais elevados, era possível ter uma visão ampla da área como um todo, abrangendo inclusive a desembocadura do rio Guamá. Nesse local, abaixo de uma camada de entulho de cerca de 80 cm, observa-se uma camada de Terra Preta (Fig. 3). Da mesma forma que no Século XVII essa área foi escolhida estrategicamente para a construção da fortaleza, por possuir visão bastante ampla da área. As populações pretéritas também parecem ter levado em conta os elementos da paisagem para se estabelecer.

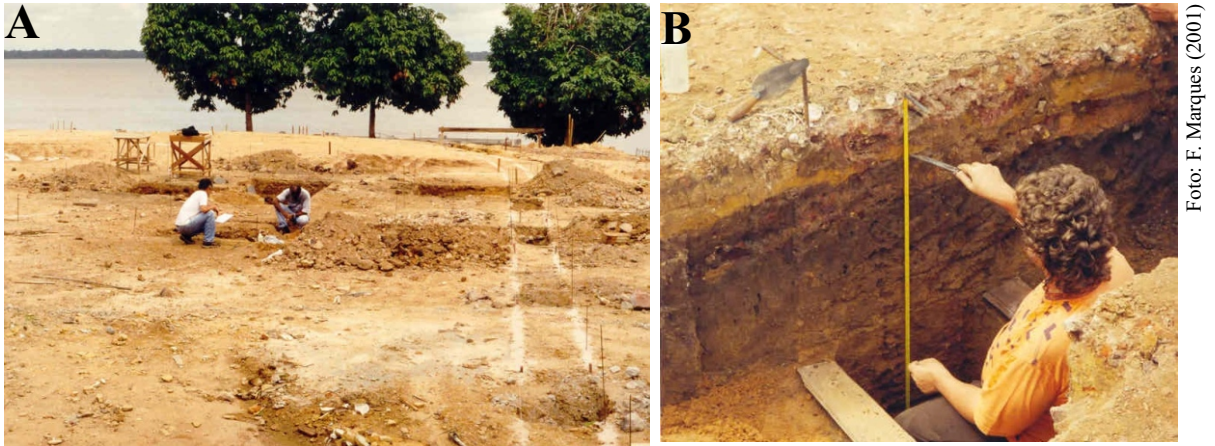


Foto: F. Marques (2001)

Fig. 3. O Sítio arqueológico está localizado às margens do rio Pará, em posição mais elevada na paisagem (A). A camada de solo com Terra Preta está sotoposta ao entulho (B).

Em arqueologia, as TPAs são utilizadas para estabelecer os limites da área de atividade de ocupação humana pré-histórica e determinar a espessura do refugo ocupacional do sítio arqueológico. Assim, suas dimensões e espessura do horizonte A antrópico são fornecidas. O tamanho dos sítios de TP localizados em terraços elevados paralelos aos rios varia de menor que 1 a 500 hectares (Smith, 1980; Roosevelt, 1991; Denevan, 2001). No entanto, a grande maioria dos sítios (80%) apresenta de 2 a 5 ha. Terras Pretas que apresentam área superior a 100 ha podem ser encontradas nas regiões de Santarém, Caxiuanã, Belterra, Juruti e Oriximiná, no Pará, e de rio Preto da Eva, Presidente Figueiredo, bem como próximo a Manaus no Amazonas (Fig. 4). O horizonte A antrópico pode variar de 10 a 200 cm de espessura, porém a grande maioria dos sítios arqueológicos com TP apresenta de 30 a 60 cm de profundidade (Fig. 4). A espessura, assim como as características morfológicas, físicas e químicas do solo podem apresentar variações dentro de uma mesma área de Terra Preta. Essas variações estão diretamente relacionadas com o padrão de assentamento do homem pré-histórico. As TPs de grande extensão e profundas pressupõem assentamento pré-histórico ocupado por longos períodos de tempo. Enquanto que sítios menores e menos profundos podem indicar períodos de ocupação mais curtos.

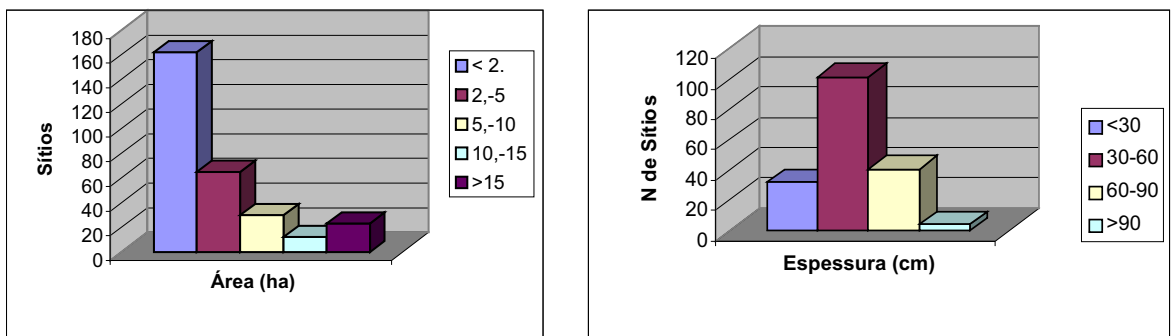


Fig. 4. Dimensões (tamanho da área e espessura do horizonte A) de sítios arqueológicos com TP.

Quando comparados com solos da floresta que possuem de 10 a 15 cm, os horizontes antrópicos das TPs são significativamente mais espessos, melhor estruturados e apresentam coloração variando de bruno-escuro a preto (7,5YR 3/1 ou 10YR 3/1 com valor e croma podendo ser mais baixos). Os sítios de Terras Pretas em sua maioria ocorrem sobre Latossolos (Oxisols) e Argissolos (Ultisols), que são profundos e muito profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa e

arenosa/média a argilosa/muito argilosa, de baixa reserva de nutrientes essenciais às plantas e situados fora do alcance das enchentes periódicas dos cursos d'água, na denominada “terra firme”, na Região Amazônica (Silvia et al, 1970; Kern, 1997; Rodrigues et al, 1991 e 2002). Ocorrem em menor proporção em outras classes de solos, Neossolos Quartzarênicos e Espodosolos Ferrocárbicos, que são essencialmente arenosos; Nitossolos Vermelhos, que são bem drenados, profundos, de nível alto de fertilidade natural, de textura muito argilosa (Smith, 1980 e Kämpf & Kern, 2005); Cambissolos, que apresentam textura média argilosa, são profundos e bem drenados; Argissolos Plínticos e Plintossolos, moderada e imperfeitamente drenados, de baixa (fertilidade) reserva de nutrientes, de textura média/argilosa e argilosa; Neossolos Litólicos, bem drenados, rasos, de textura média (Falesi, 1970). Pelo fato de as TPs serem encontradas nas mais diversas classes de solo, parece que esse não deve ter sido fator determinante para o estabelecimento de grupos pré-históricos.

As Pesquisas Realizadas em Terra Preta ao Longo do Tempo

Os primeiros relatos de que se tem notícia sobre Terra Preta são dos anos de 1870 e 1871, escritos por Charles Hartt e Joseph Beal Steere (Woods & Denevan, 2006). Esse fato é extremamente curioso, haja vista a existência de documentos sobre Amazônia, de vários exploradores e viajantes, desde o século XVI. Teixeira & Papavero (2002), no livro “Os primeiros documentos sobre a história Natural do Brasil”, fizeram um grande levantamento referente aos cronistas dos séculos XVI e XVII, nada sendo mencionado em relação aos solos de Terra Preta. Nesse período parece que os exploradores estavam mais preocupados em relatar a existência de metais como o ouro; vegetais, como pau-brasil e drogas do sertão; animais, além de muitos relatos sobre a forma de viver dos habitantes da terra, dando ênfase ao seu cotidiano (residências, alimentação e guerras). Dos solos em geral raramente há referências, e quando essas ocorrem, as fontes são duvidosas como as da geógrafa Morse (1809), ao mencionar somente que na Amazônia “Os solos são extremamente férteis”. As Terras Pretas não mereceram registros de naturalistas como Robert Ave-Lallemant, em 1859, e Rodrigues Ferreira em sua viagem filosófica ao rio Negro em 1783, viajando pelo Amazonas de Belém a Manaus, visitaram Santarém e Porto de Moz (Ave-Lallemant, 1980 e Rodrigues Ferreira, 1983). Vale ressaltar que essas são cidades assentadas em grandes áreas de Terra Preta, onde fragmentos de cerâmica podem ser vistos facilmente na superfície até hoje; o Príncipe Adalberto da Prússia, em 1842 permaneceu no Amazonas convivendo com índios por mais de dois meses, descreveu a geografia da região e os solos, mas a Terra Preta parece não ter chamado sua atenção (Adalberto, 1977); Bates, em 1848, em sua viagem pelo rio Amazonas, saiu de Belém, percorreu o rio Solimões até as fronteiras com o Peru; Henri Coudreau, em suas viagens ao Tapajós, Xingu e Tocantins, nos anos de 1895 a 1898, também passa por Santarém e Itaituba, menciona a indumentária e ferramentas dos índios, visita uma localidade denominada de Terra Preta, mas nada registra sobre esses solos (Bates, 1979; Coudreau, 1977a; 1977b e 1980).

A primeira nota impressa de que se tem conhecimento sobre Terra Preta é do geólogo Charles Hartt, baseado em suas pesquisas nos anos de 1870 e 1871. O autor descreve a região do baixo rio Tapajós, incluindo escavações do famoso sítio Taperinha (Hartt, 1874a, 1874b; 1885). Tanto Hartt como seu assistente Herbert Smith, em seu livro *The Amazons and the Coast* (1879), fizeram uma conexão clara entre Terras Pretas e aldeias indígenas. Hartt (1974b) usou o termo “kitchen middens” para descrever esses solos, reportando o cultivo nas Terras Pretas pelos índios modernos (Hartt, 1885). Desde os primeiros trabalhos realizados, a gênese das TPs sempre chamou a atenção dos pesquisadores. Hartt, em 1885, sugeriu que TPAs seriam solos vegetais, para os quais os índios eram atraídos devido à alta fertilidade da terra; e fundamentou essa hipótese, por ter encontrado fragmentos cerâmicos em toda a camada de refúgio ocupacional. Steere, em uma de suas cartas, a de número XIX, datada de 1871, chama a atenção para as grandes manchas de terra preta encontradas no sítio Taperinha em Santarém. Segundo o autor, as Terras Pretas apresentam solos profundos e com grande quantidade de material cerâmico, levantando a hipótese de que esses solos seriam antigos “sítios de vilarejos indígenas” e que a coloração preta do solo era devido ao lixo de uma grande população, somado às folhas podres de palmeiras decorrentes da cobertura de casas, ao longo de várias gerações (Tradução do texto da carta

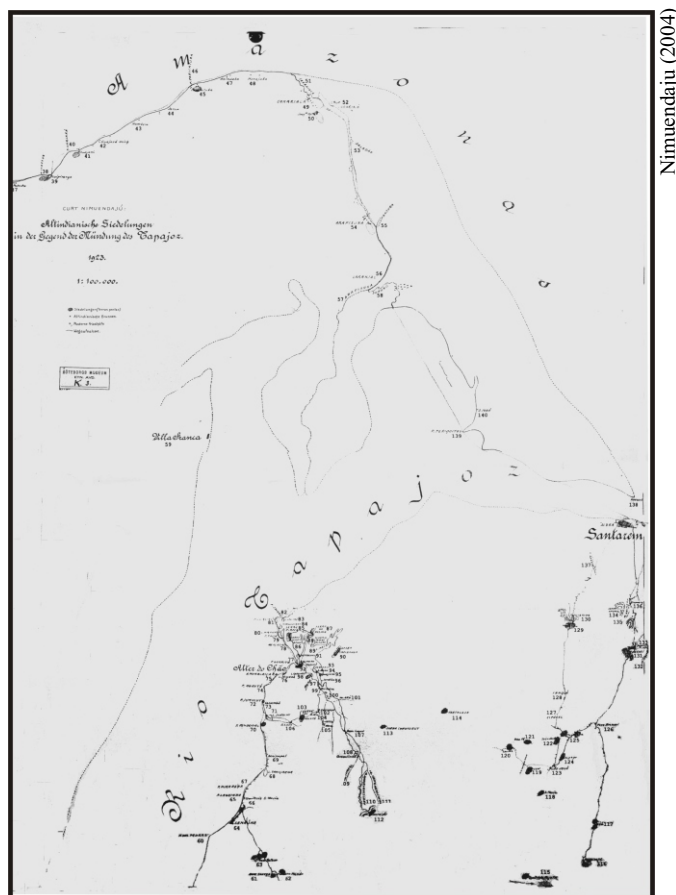
XIX, gentilmente cedida pelos pesquisadores Papávero e Overal em 2005). Outro observador do fenômeno de Terra Preta foi o geólogo James Orton, que visitou a área de Santarém em 1868. Na terceira edição do seu livro "*The Andes and the Amazon*", em 1875, menciona que "a terra é preta e muito fértil. Para Smith (1879), são encontrados fragmentos de cerâmica espalhados em toda a área de Terra Preta e que a riqueza dos solos se deve ao refugo de mil cozinhas durante talvez mil anos". O geólogo britânico, C. Barrington Brown, fez observações semelhantes quando descreveu Terras Pretas na Guiana (Brown, 1876) e nas margens do Amazonas, próximo a Óbidos, mencionando que esses solos, sem dúvida nenhuma, seriam solos artificiais (Brown & Lidstone, 1878). Orville A. Derby menciona a presença de manchas de Terra Preta com material arqueológico dispostas nas margens dos lagos do rio Trombetas, onde estavam assentados os moradores de então (Derby 1897).

Friedrich Katzer publicou o clássico volume sobre a geologia da Região Amazônica, em Leipzig - Alemanha, baseado em seu trabalho de campo dos anos de 1890. Katzer reconheceu a fertilidade desses solos na região do baixo Amazonas, conduzindo pioneiramente os trabalhos analíticos nesses solos. Descreve as TPs como locais de antiga colonização de aborígenes, considerando-as como uma camada cultivada, menciona ainda que a elucidação da sua origem necessitaria de maiores estudos, mas enfatiza a sua similaridade com áreas sedimentares de antigos igapós (Katzer, 1903 e 1944). O antropólogo William Farabee (1921), baseado em uma viagem para a região de Santarém, em 1915, achou que as Terras Pretas localizadas no extremo norte do Planalto de Belterra seriam vestígios de antigas aldeias de índio.

Assim, no final do século XIX, apesar de vários cientistas e naturalistas não registrarem a presença das Terras Pretas, outros tantos a reportaram, em vários locais da Amazônia. Praticamente todos fizeram conexão entre artefatos indígenas encontrados no interior das TPs com a sua origem antropogênica. Entretanto, muito pouco progresso adicional foi feito durante a primeira metade do século XX.

Patrocinado pelo Museu de Etnografia de Göteborg, Suécia, sob a direção de Erland Nordenskiöld, entre 1923 e 1925, o antropólogo alemão naturalizado brasileiro, Curt Nimuendajú (Curt Unkel, antes de 1922), conduziu escavações e pesquisas em sítios de terra preta na região do baixo Tapajós e nas margens do Amazonas. Como Katzer, Nimuendajú (2004) supôs que as Terras Pretas foram desenvolvidas por meio de atividades de habitação indígenas associadas com assentamentos permanentes, e que os solos férteis resultantes foram então utilizados para produção agrícola. Ele produziu um manuscrito em 1925, "*Die Tapajó*", tendo início em 1923 uma série de mapas mostrando a localização dos sítios de terra preta; com relevantes publicações até mesmo após a sua morte (Nimuendajú, 1948; 1949; 1952; 1953; 2004). A localização dos sítios era efetuada apenas por observação direta, haja vista a escassez e precariedade das cartas topográficas da época; mesmo assim, observa-se o grande esforço por parte do autor em alocar os sítios com TP (Fig. 5). Atualmente, com o avanço da tecnologia, utilizando-se mapas com melhor escala, imagens de satélites, de radar e ainda com o uso intensivo do GPS, a localização dos sítios arqueológicos tornou-se mais confiável.

A década de trinta é marcada somente pela publicação póstuma de uma tradução em português do livro de Katzer de 1903, publicado em 1933 (Woods & Denevan, 2006). A falta de publicações versando sobre Terra Preta nos anos de 1920 e 1930 é surpreendente, pois em 1927 inicia o período da plantação de borracha de Fordlândia no alto rio Tapajós, sendo suas atividades transferidas, em 1934, para Belterra, cujo planalto apresenta grande número de Terras Pretas, que podem ser observadas até mesmo na zona central da cidade. Apesar disso, nenhuma menção especial parece ter sido feita às TPs na literatura, nem pelo fato de as seringueiras terem bom desenvolvimento nesses solos (Wim Sombroek, comunicação pessoal, 2002). Igualmente curioso é o fato de Marbut & Manifold não mencionarem Terras Pretas em seu clássico artigo sobre solos da Amazônia no "*Geographical Review*" em 1927. Para Woods & Denevan (2006), Marbut & Manifold (1927) claramente conduziram pesquisas e amostragem de solos no centro de Terras Pretas, mas parecem ter ignorado a presença desses solos.



Nimuendaju (2004)

Fig. 5. Localização de sítios arqueológicos na região de Santarém efetuado por Nimuendajú em 1923.

Nas décadas de 1940 a 1970 vários pesquisadores reportaram esses solos e os descreveram. Em 1944 um extrato do livro de geologia de Katzer de 1903 foi publicado no Brasil como "A Terra Preta". Esse foi o primeiro artigo publicado especificamente sobre o assunto, sendo frequentemente citado. Em 1949, o geógrafo Pierre Gourou revisou várias teorias referentes à gênese das TPs e concluiu que seriam provavelmente de origem arqueológica (Gourou, 1949a; 1949b). O geógrafo Hilgard Sternberg descreveu Terra Preta na Ilha do Careiro, a leste de Manaus, mencionando a abundância de sítios arqueológicos que podem ser encontrados ao longo do paraná do Carreiro ou do Cambixe. Utilizou a datação dos fragmentos de cerâmica encontrados na Terra Preta para determinar a antiguidade da migração e estabilidade de canais amazônicos, admitindo serem, as manchas de terra preta, locais de antigos assentamentos indígenas (Sternberg, 1956; 1998). Mais tarde ele mostrou que:

"It is remarkable that in an environment such as Amazonia, whose potentials have been judged insufficient to support large concentrations of population or stable settlement (Meggers, 1954), indigenous settlements should have been so large and persistent" (Sternberg, 1975:32-33).

Os trabalhos pedológicos em solos com TPA realizados por Ranzani et al. (1962), Sombroek (1966), Silva et al. (1970), Falesi (1972) e (1974) e Bennema (1977) mostram uma alta fertilidade contrastando com os solos da Região Amazônica que apresentam, geralmente, baixa fertilidade. Os principais elementos químicos analisados nessas pesquisas foram Ca, Mg, P e C. A gênese das TPs chamava a atenção da maioria dos cientistas de solos desse período, que lhes atribuíam origem natural,

em contraste com a convicção preliminar de que esse solo era de origem humana. Para Camargo (1941), Faria (1946), Cunha Franco (1962) e Falesi (1972 e 1974), as TPAs ter-se-iam originado de eventos geológicos ou a partir de fundos de lagos extintos. Segundo Camargo (1941), elas se originaram a partir de cinzas vulcânicas, enquanto que Faria (1946) atribuiu sua formação a sedimentos depositados em fundos de lagos extintos ou pela decomposição de rochas vulcânicas. Segundo Cunha Franco (1962), as TPAs tiveram origem em lagos antigos, em cujas margens habitavam os índios, utilizando-os para fermentar a mandioca e como suprimento de água, neles depositando ainda grande parte de fragmentos de cerâmica e lixo da aldeia. Fundamentou sua hipótese na configuração das áreas e sua distribuição em profundidade: forma mais ou menos circular, como uma lente enterrada com a parte plana para cima, além de estarem situadas em locais secos e afastadas das margens dos rios. Afirma que as TPAs próximas aos rios se devem à habitação indígena, mas, mesmo assim, deveriam ser procuradas evidências de lagos ou igapós de épocas anteriores. Falesi (1972; 1974) é favorável à tese de Cunha Franco (1962), sugerindo que esses lagos teriam se formado com o soerguimento da região andina no final do terciário, quando, segundo o autor, os rios que desaguiavam no Oceano Pacífico passariam a correr em sentido contrário para desaguar no Atlântico, ficando a água represada em depressões. Conforme esses locais secavam, os seres vivos morriam, entravam em decomposição e, conseqüentemente, enriqueciam os solos. Falesi (1967) acreditou que Terra Preta era tão comum que foi reconhecida por ele como uma unidade taxonômica. Entretanto, o autor acredita atualmente que tais solos foram o resultado de atividade humana (Hiraoka et al, 2003). Ranzani et al. (1962) classificaram o horizonte A do solo com TPA como sendo um "plaggen epipedon", isto é, incorporação intencional de nutrientes ao solo através de práticas de manejo. Os autores atribuem a fertilidade ao uso eficiente da terra por povos de procedência andina, que incorporavam ao solo cinza de animais e de vegetais, com predominância das primeiras. Wim Sombroek, em seu clássico "*Amazon Soils*", fez descrições e análises de laboratório de Terras Pretas do planalto de Belterra, fazendo distinção entre Terra Preta propriamente dita e Terra Mulata (Sombroek, 1966). Terra Mulata foi um termo que Sombroek introduziu na literatura, acreditando que as propriedades específicas desse solo se deviam a um período de cultivo longo e duradouro. Mapeou a distribuição de Terras Pretas ao longo do baixo rio Tapajós. Em 1966 questionou se era "economicamente justificável" criar e cultivar tal solo na atualidade. Porém, mais recentemente, ele promoveu a idéia de desenvolver terra preta com objetivo de cultivo intensivo e estoque de carbono, denominando de "Terra Preta Nova" (Sombroek et al., 2003; Madari, et al 2004). Sua idéia foi amplamente divulgada, resultando em várias iniciativas relacionadas à formação de Terra Preta Nova, dentre elas o projeto "Aproveitamento econômico dos resíduos de madeira como alternativa para minimizar os problemas sócio-ambientais no Estado do Pará". A metodologia desse projeto foi amplamente discutida com Sombroek em 2002 e resultados preliminares podem ser vistos no capítulo XX. Sombroek faleceu em 2003, mas até hoje é considerado "O Padrinho de Terras Pretas amazônicas" ou o "Garoto propaganda das Terras Pretas". Em sua homenagem foram dedicados os recentes livros sobre o assunto.

A dúvida sobre a origem das TPs nunca pairou no meio científico arqueológico. Os arqueólogos sempre utilizaram os limites da mancha de Terra Preta como sendo os limites do sítio arqueológico e a espessura como sendo a espessura do refúgio ocupacional. Assim, nos relatórios de campo dos trabalhos arqueológicos, é possível verificar os mapas de distribuição dos sítios arqueológicos em várias regiões da Amazônia, o posicionamento dos sítios na paisagem em relação à fonte de água mais próxima, bem como as dimensões das áreas de Terra Preta (Kern et al, 2003). As variações dimensionais são atribuídas ao tempo de ocupação ou densidade populacional do homem pré-histórico. Esses grupos tinham sua subsistência baseada no cultivo de grãos e raízes, complementado com caça, pesca e coleta, o que assegurava uma permanência mais prolongada no local (Simões, 1972; Simões, 1982).

A partir dos anos 90 houve aumento tanto em número como na qualidade das pesquisas realizadas em TP. Isso não quer dizer que as pesquisas nos anos anteriores não tivessem mérito científico, mas foi a partir dos anos 90 que pesquisadores de diversas áreas do conhecimento começaram a desenvolver

seus temas, especificamente em TPs, como pode ser comprovado nas diversas teses de mestrado e doutorado e artigos científicos publicados especificamente sobre o assunto, mostrando a diversidade de pesquisas que vêm sendo realizadas sobre Terra Preta nas últimas décadas. Desde 1986 o Museu Goeldi, juntamente com o Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, Departamento de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa-Rio, Esalq-SP, Departamento de microbiologia da Universidade Estadual do Pará - UEPA, Departamento de solos da UFRA vêm desenvolvendo pesquisas em TPs, a partir de análises morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos de TP e áreas adjacentes, além do estudo da distribuição espacial (mapeamento geoquímico) dos elementos químicos analisados, determinando hipoteticamente o padrão de assentamento pré-histórico. Esses estudos mostram um grande avanço nas pesquisas, como podem ser vistos em teses, dissertações e inúmeros artigos e capítulos de livros publicados, contando ainda com o Grupo de Pesquisa “Estudo de Terra Preta Arqueológica da Amazônia”, cadastrado no CNPq desde 1997. Vários outros grupos dedicam-se ao estudo das TPs no Brasil, como o Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA, UFA, Embrapa Amazônia Ocidental, que tem como colaboradores a Universidade Federal de Viçosa - UFV-MG, Embrapa-Rio, entre outros organismos nacionais e internacionais. Assim, os centros que desenvolvem pesquisas com TPs contam com pesquisas multi e interdisciplinares. Fato interessante é a observação feita por Falesi em 1972:

“uma equipe constituída de arqueólogos, pedólogos, geólogos, geomorfólogos, paleobotânicos, trabalhando em conjunto com um mesmo objetivo, em pouco tempo estaria desvendado o problema da gênese das terras pretas do Índio”. (Falesi, 1972:34).

Em 2002, exatamente 30 anos depois, um grupo de cientistas de diversas áreas do conhecimento encontraram-se em Manaus, em um workshop internacional sobre TP (Fig. 6). Esse encontro permitiu a apresentação de trabalhos específicos em geoquímica, pedogeoquímica, pedologia, arqueologia, geoarqueologia, etnoarqueologia, microbiologia, ocupação atual, aspectos legais das pesquisas em TP junto ao órgão competente (IPHAN), além de uma primeira tentativa de classificação de solos antrópicos, entre outros. Foram efetuadas excursões para visita em sítios de TP, intercaladas com apresentações orais, suscitando debates calorosos tanto referentes à metodologia de abordagem, como a futuras pesquisas e publicações, tendo como resultado a importante publicação do livro “Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management” (Lehmann et al., 2003) que versa exclusivamente sobre TP.



Fig. 6. Cientistas de diversas áreas do conhecimento no Workshop Internacional sobre TP em 2002.

Considerações Finais

Como pode ser observado neste trabalho, nas últimas duas décadas houve grande avanço nas pesquisas em solos com Terra Preta. O número de publicações aumentou significativamente, de 24 até 1970 para 42 nos anos 80, passando para 78 nos anos 90 e 124 publicações entre os anos de 2000 a 2004 (Woods & Denevan, 2006). Porém, muitas perguntas ainda estão sem respostas em relação a origem, distribuição e propriedades das TPs. O melhor conhecimento desses solos é altamente importante por diversas razões: eles fornecem informações inestimáveis referentes a estratégias de assentamento e comportamento humano pré-histórico; a presente utilização destes solos pelo homem amazônida, como importante fonte de recursos para produção de alimentos. As Terras Pretas Arqueológicas (Antropogênicas) apresentam alta fertilidade, a qual é conhecida empiricamente pelo caboclo, porém até o momento nenhuma pesquisa agrônômica significativa foi realizada nesses solos. A alta fertilidade e a sustentabilidade deles incitam esforços para recriar terras pretas, visando à melhoria na produção de alimentos de forma sustentável para a região.

As Origens Agrícolas da Terra Mulata na Amazônia

William Denevan

Terras escuras antropogênicas apresentam larga ocorrência em áreas ribeirinhas, assim como na terra firme, em manchas que podem variar de um hectare ou menos até várias centenas de hectares. A forma mais escura (Terra Preta) parece ter sido desenvolvida a partir do lixo de vilas pré-européias, constituído de cinzas e carvão de cozimento, fragmentos culturais (cultural debris), fezes, ossos e restos domésticos de jardins. A forma mais clara (Terra Mulata) constitui ocorrências muito mais extensas e apresenta pouco ou nenhum artefato, e sua origem pode estar ligada à agricultura intensiva ou semi-intensiva, na opinião de alguns cientistas do solo (Sombrøek, 1966:175; Glaser *et al.* 2001), arqueólogos (Herrera *et al.* 1992; Petersen *et al.* 2001), botânicos (Prance & Schubart 1977) e geógrafos (Denevan 2001:104-110, 123-124; Woods & McCann 1999). Quais seriam então as possíveis práticas de cultivo envolvidas?

Há 40 anos, Win Sombrøek, ao mapear uma seção ao longo da margem do Rio Tapajós, próximo a Belterra (sul de Santarém), constatou a ocorrência de 200ha de Terra Preta ao longo da margem e 1000 ha de Terra Mulata estendendo-se em direção à terra firme (Fig.1). Essa relação entre esses dois tipos de solo é comum, ou seja, a ocorrência da Terra Preta alinhada com os barrancos dos rios e, em direção à terra firme, a presença de manchas de Terra Preta circundadas pela Terra Mulata.

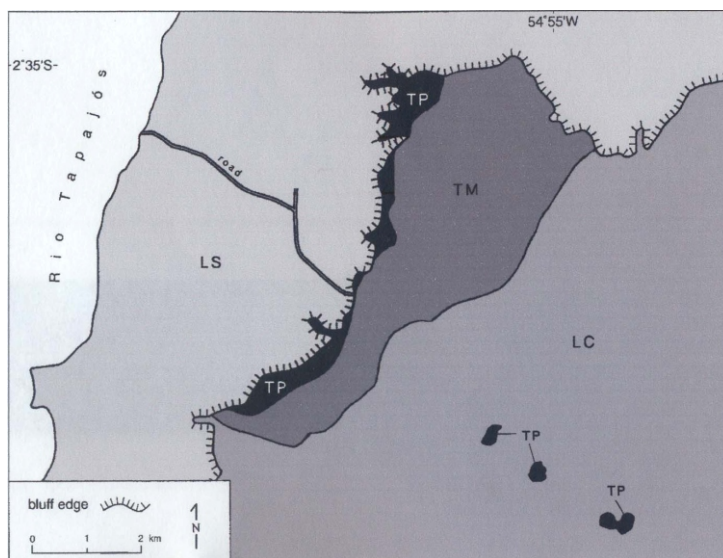


Fig. 1. Mapeamento de ocorrência de Terra Preta (TP) e Terra Mulata (TM) nas margens do Rio Tapajós (Sombrøek, 1966).

A fertilidade relativamente elevada da Terra Mulata tem sido atribuída a dois fatores: 1) um conteúdo elevado de partículas de carvão (black carbon), resultado da combustão incompleta em queimadas freqüentes; e 2) um teor elevado de matéria orgânica, originada inicialmente de mulching e compostagem e posteriormente mantida por níveis elevados de atividade microbiológica. As queimadas freqüentes poderiam ter ocorrido em zonas de agricultura semi-intensiva ao redor de áreas habitadas permanentemente.

A imagem predominante da agricultura pré-européia nas florestas de terra firme da Amazônia é a de uma agricultura itinerante, com curtos períodos de cultivo e longos intervalos de abandono/descanso da terra. Embora seja esse o padrão dominante na atualidade, um modelo revisionista tem sido sugerido, no qual uma complexa paisagem antropogênica resulta de uma combinação de campos semi-intensivamente cultivados, intercalados com pomares de frutas, áreas em descanso (*managed fallow*), jardins domésticos e *brief bush fallows*, com vilas semipermanentes, algumas atingindo milhares de habitantes, cercadas por áreas de floresta modificadas por atividades de caça e extrativismo (Denevan 2001:102-132).

Machados de Pedra e Cultivo de Florestas

Na Floresta Amazônica, o terreno deve ser limpo antes que formas de cultivo anual sejam possíveis. A vegetação de menor porte poderia ser removida com o uso de facões feitos de madeira pesada, porém o corte de grandes árvores necessitaria do uso de machados de pedra. No entanto, quando comparados com os machados de metal introduzidos posteriormente pelos europeus, os machados de pedra mostram-se tão pouco eficientes na remoção de grandes árvores que fica evidente que a agricultura itinerante era provavelmente muito difícil, mesmo com o anelamento (*girdling*) e queima dos troncos das árvores (Denevan 2001:116-123).

Estudos experimentais, envolvendo os dois tipos de machados, indicam que a limpeza de uma área de floresta utilizando-se o machado de pedra requer até 60 vezes mais tempo e energia; observando-se uma relação média de 10 x 1, dependendo do diâmetro e resistência da árvore, tipo de machado, técnica de corte, força física e uso de métodos auxiliares. Além do pequeno poder de corte, esse tipo de artefato freqüentemente perde o corte ou se quebra, exigindo reparos e substituições constantes, além disso, na Amazônia a rocha adequada pode estar a quilômetros de distância.

O histórico sistema, alternando curtos períodos de cultivo com longos intervalos de descanso da terra, só se tornou possível com a utilização de machados de metal, ou seja, em períodos pré-europeus a limpeza de áreas de floresta com machados de pedra era provavelmente menos freqüente. Uma vez aberta uma clareira, seja intencionalmente ou pela queda de uma árvore, incêndio espontâneo ou ventos fortes, essa área deve ter sido cultivada de maneira semipermanente, possivelmente com a expansão gradual de suas bordas.

A fertilidade poderia ser mantida com a adição de lixo doméstico, cinzas, carvão, folhas mortas (*mulches*) e composto, além de queima *in situ* de ervas daninhas, restos de colheita e galhos e folhas de árvores, provenientes tanto da própria área como trazidos da floresta adjacente.

A intensidade dos trabalhos deve ter sido alta, especialmente no controle de ervas daninhas, que se mostram mais agressivas em áreas de cultivos intensivos. No entanto, curtos períodos de repouso de alguns poucos anos podem reduzir o crescimento das ervas daninhas, o que favorece a hipótese de cultivos semipermanentes em vez de permanentes um ou alguns poucos anos de cultivo, intercalados com alguns anos de descanso da terra.

A agricultura pré-européia era provavelmente mais intensiva e mais produtiva do que a agricultura pós-contato. Após 1492, os machados de metal tornaram-se disponíveis, resultando em uma revolução tecnológica em termos de instrumentos e eficiência na limpeza de áreas florestadas. No entanto, deu-se na realidade uma involução agrícola em direção ao cultivo itinerante, resultando em uma simplificação e redução na produtividade, tanto por unidade produtiva como ao longo do tempo, características essas que são observadas até o presente. Além disso, algumas sociedades do interior adotaram definitivamente uma economia extrativista/coletora (*foraging*) em detrimento da agricultura (Balée 1992, 1995).

Devido ao seu extraordinário valor na limpeza de terrenos de florestas, os machados de ferro e, posteriormente, de aço tornaram-se importantes objetos de comércio no período colonial e, em algumas áreas remotas, até mesmo recentemente (Mitraux 1959).

Embora descrições de agricultura itinerante nas Américas sejam raras anteriormente a 1600 AD (Denevan 2001:115), vários pesquisadores, apoiados em poucas ou nenhuma evidência, assumem que essa era a forma de cultivo dominante nas florestas neotropicais em períodos pré-europeus (Meggers 1957:80-83 uma opinião inalterada mesmo após 40 anos Meggers 1996:19-23), sendo o cultivo intensivo uma “impossibilidade” (Roosevelt 1980:87 - opinião posteriormente mudada Roosevelt 1999:381-382). Tal hipótese, baseada em analogia etnográfica (recente ou atual), é fortemente contraposta por pesquisas e análises histórico-ecológicas e arqueológicas.

A tese do machado de pedra, exposta acima, pode explicar porque a agricultura semipermanente deve ter sido adotada em lugar da cultura itinerante, que não produz Terra Preta. Contudo, o acúmulo de matéria orgânica e as queimadas freqüentes poderiam viabilizar a agricultura semipermanente, além de contribuir para a formação de Terra Mulata.

Queimadas (in-field burning)

A chave para a formação da Terra Mulata e sua fertilidade duradoura parece ter sido a prática freqüente de algum método de queima, do qual restou carvão, que, ao contrário das cinzas, não é degradável. Essa “queima fria” poderia ser uma forma de “picar e chamuscar” (slash and char), onde o material oriundo da limpeza do terreno é queimado ainda úmido, resultando em combustão incompleta; ao contrário da prática adotada atualmente, na qual os restos vegetais são secos por um longo período para só então serem queimados. O carvão resultante da “queima fria”, juntamente com os altos níveis de microorganismos no solo, aparentemente, criaram a alta fertilidade da Terra Mulata.

A Terra Preta apresenta 70 vezes mais carbono do que os solos adjacentes. Embora esse elemento não seja um nutriente, ele os retém e torna-os disponíveis, estabiliza a matéria orgânica do solo, aumenta os níveis de pH, aumenta a atividade microbial do solo, mantém a umidade, ajuda a repelir insetos e reduz a lixiviação de nutrientes, mantendo e elevando, portanto, a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade agrícola e a sustentabilidade (Lehmann *et al.* 2003; Steiner *et al.* 2004).

Queimada (in-field burning) refere-se à queima realizada dentro de uma área cultivada ou zona agroflorestal, após o estabelecimento da área de cultura. Particularmente comum na atualidade são as queimadas secundárias de troncos e galhos não completamente queimados, os quais são empilhados e novamente queimados com a dupla finalidade de abrir espaço e criar pilhas de cinzas sobre as quais o cultivo pode ser concentrado. Outras pilhas são formadas a partir de ervas daninhas, restos de colheita e liteira trazida da floresta. Além de concentrar nutrientes e reduzir a acidez do solo, a queima repele insetos e reduz organismos patogênicos.

As práticas agrícolas dos índios Kayapó, da região central do Brasil, são um exemplo de queimada cuidadosamente controlada, conforme descrito por Hecht & Posey (1989) e Hecht (2003). Nos primeiros três anos de cultivo, os Kayapós controlam a freqüência, localização e extensão de suas pequenas queimadas, assim como o volume da biomassa, sazonalidade, período do dia e, portanto, temperatura, e esses parâmetros são específicos para cada cultivo e grupo de cultivos.

Os padrões de queima são importantes para a estrutura, ou arquitetura, dos campos dos Kayapós. As espécies queimadas também podem “afetar as características de fertilidade da queimada”. Os Kayapós possuem muitos termos descritivos para tipos de cinzas, assim como canções e rituais de queimada, e seus pajés são especialistas no método.

Algumas populações da Amazônia gastam um total de uma hora ou algumas poucas horas no processo de queima para limpeza de um terreno (Bari, Kuikuru, Miriti, Shipibo, Amahuaca), enquanto os Machiguenga, que se esmeram nos cuidados com a queimada, levam em média 80 horas (Beckerman 1987). Assim como os Kayapós, os Machiguenga também acreditam que as cinzas são bons fertilizantes para os cultivos (Johnson 1983). No entanto, uma camada de cinza constitui geralmente apenas um enriquecimento temporário do solo, não sendo reconhecida pela maioria das populações indígenas agricultoras (Descola 1994:158).

Uma outra possibilidade para a prática de queimadas regulares seria o corte de galhos de árvores, seu empilhamento, secagem e queima para a formação de pilhas de cinzas e carvão. Os galhos poderiam provir de árvores manejadas, de crescimento secundário, ou de floresta primária. Embora haja poucas evidências dessa prática, tanto historicamente quanto no presente, a possibilidade existe, podendo ter sido empregados machados de pedra e macanas (facões feitos com a palmeira chonta *hard chonta-palm machetes*).

No Equador, os Achuar reúnem os galhos parcialmente queimados em uma pilha no centro do terreno, e novamente ateam fogo (Descola 1994:157). Aparentemente, os galhos não são trazidos de fora da área a ser cultivada. Pilhas menores de restos vegetais são formadas ao redor das pilhas principais e queimadas, resultando em concentrações de cinzas que favorecem o plantio de tuberosas (yam) devido à presença de Potássio. O corte de galhos, seu empilhamento e queima são práticas comuns na África Central (Allan 1965:66-137).

Enriquecimento Orgânico (Organic Amendments)

Segundo Woods & McCann (1999), a combinação entre queimadas freqüentes e aporte de matéria orgânica proveniente de cobertura morta e compostagem (*mulching and composting*) resultou na formação e persistência da Terra Mulata, através do aumento da capacidade de retenção de nutrientes, aumento da fertilidade e manutenção da atividade biológica do solo.

Entre os exemplos etnográficos de práticas de cultivo semipermanente na Amazônia, os melhores estudados são os Kayapós, no Brasil Central (Hecht & Posey 1989; Posey 2002:165-218; Hecht 2003).

Os Kayapós utilizam intensamente a cobertura morta (*mulching*) e a compostagem como práticas de manejo do solo, empregando resíduos de colheita, ervas daninhas e folhas de bananeira, além de folhas de palmeiras que podem ser provenientes das florestas adjacentes. Como prática adicional, adotam também a aplicação direta de material orgânico no solo ao redor de árvores cultivadas, empregando nesses casos fragmentos de formigueiros e cupinzeiros, ossos, folhas picadas etc. Com esses procedimentos e a realização de queimadas, os Kayapós atingem um período de cultivo de aproximadamente cinco anos, seguidos de apenas 10 a 11 anos de descanso do solo.

Os indicadores de fertilidade (pH, N, P, K, Ca, Mg) aumentam no primeiro ano em relação aos níveis observados em áreas de floresta e, geralmente, mantêm-se estáveis após cinco anos ou até mais (Hecht 1989), sendo o abandono da área, após o quinto ano, causado pela invasão de ervas daninhas, e não pelo declínio da fertilidade.

Descrições similares para outros povos indígenas da Amazônia incluem os Waika (Yanomami) da Venezuela, que mantêm policulturas *swidden* por cinco ou seis anos (Harris 1971). Em Araracuara, na Colômbia, há evidências arqueológicas de aumento da fertilidade do solo por adição de material orgânico, como lixo doméstico, folhas, ervas daninhas, algas e até silte aluvial (Herrera *et al.* 1992).

Em regiões onde os períodos secos são muito curtos para permitir as queimadas, toda a vegetação cortada pode ser deixada sobre o solo para se decompor, o que pode ocorrer relativamente rápido devido às altas temperaturas e umidade, permitindo a lenta liberação de nutrientes.

Vários exemplos desse sistema de picar/decompor (*slash/mulch*) descrito por Thurston (1997) podem ser observados atualmente na Amazônia Ocidental (Achuar, Canelos Quíchua, Napo Quíchua), e é possível que a técnica tenha sido ainda mais comum em tempos pré-históricos.

Já os índios Kayabi, no Brasil, empregam tanto a queima de restos vegetais como a decomposição do material sem queima (Rodrigues 1993:155).

Cultivo Atual da Terra Preta

Os métodos de cultivo da Terra Preta empregados atualmente pelos “caboclos” fornecem indicações sobre como a Terra Mulata ter-se-ia formado. Na região do Baixo Rio Negro, German (2003^a, 2003b) observou que a produtividade da Terra Preta é mantida, e a invasão por ervas daninhas evitada pela alternância entre um ou dois anos de cultivo e pelo menos quatro anos de abandono do solo, auxiliado por práticas adicionais, tais como pilhas de compostagem, rotação de culturas, além da queima de ervas daninhas, folhas e resíduos de colheita.

O cultivo mais contínuo só é possível através de um trabalho intensivo de compostagem e carpinagem freqüentes, ou com o emprego de fertilizantes químicos e carpinagem mecanizada.

Major *et al.* (2005) constataram, na região de Manaus, que a velocidade e a densidade da invasão por ervas daninhas é várias vezes maior na Terra Preta que nos solos adjacentes. Ou seja, originalmente, quando a Terra Mulata se desenvolveu, a fertilidade elevada causada pela compostagem e queimadas era contrabalançada pelo avanço rápido das ervas daninhas, exigindo; portanto, um trabalho mais intenso de carpinagem ou, mais provavelmente, rápidos períodos de abandono do solo. Essa constatação favorece a hipótese de que o cultivo semipermanente, em vez do cultivo permanente, foi decisivo na formação da Terra Mulata ao longo do tempo.

Conclusões

Considerando-se a ineficiência dos instrumentos disponíveis (machados de pedra) para a abertura de áreas de floresta, agricultores pré-europeus, provavelmente, utilizavam-se de métodos de cultivo semipermanentes: curtos períodos de plantio com períodos também curtos de descanso ou abandono do solo. Nesses últimos, o terreno seria ocupado por sistemas agroflorestais dominados por árvores frutíferas e outras espécies úteis. No entanto, o restabelecimento da fertilidade do solo provavelmente dependia da adição de cinzas e carvão de queimadas freqüentes e de compostagem e cobertura morta.

Com o decorrer de longos períodos de tempo, Terra Mulata marrom claro a marrom escuro formou-se nessas zonas de cultivo agroflorestal e, devido às suas propriedades, atraiu a atenção de agricultores, que perceberam a possibilidade de manter culturas mais exigentes, como o milho, nessas áreas.

Portanto, a presença desses solos estimulou a manutenção dos assentamentos, o cultivo e o retorno a esses terrenos após períodos de abandono, fato que se repete até o presente. Evidências da continuidade desse processo por centenas de anos são encontradas em áreas de terra firme e várzea.

Esse cenário corresponde, no entanto, a uma simplificação, uma vez que, indubitavelmente, deve ter havido variações consideráveis nas formas de Terra Preta, nos processos históricos, formas de uso da terra e padrões de assentamento responsáveis pela sua formação.

Neste trabalho sugere-se, portanto, que a Terra Mulata pode ser o resultado de práticas de agricultura semi-intensiva, e, embora apenas uma conjectura, foram dados exemplos de práticas adotadas atualmente pelos caboclos e índios da Amazônia que suportam essa teoria.

Infelizmente, a replicação dos processos de formação da Terra Preta é dificultada pelo longo período de tempo aparentemente envolvido. No entanto, análises químicas do solo, micromorfologia e microfósseis de plantas podem ajudar a desvendar a gênese antropogênica da Terra Preta e a atividade agrícola associada.

Classificação das Terras Pretas de Índio e Outros Solos Antrópicos Antigos

Nestor Kämpf
William I. Woods
Dirse Clara Kern
Tony Jarbas Cunha

Na Região Amazônica ocorrem áreas onde as características originais do solo foram modificadas pela atividade humana pré-histórica. Esses solos apresentam cor escura, restos de material arqueológico (fragmentos cerâmicos e de artefatos líticos) e altos teores de carbono orgânico, fósforo, cálcio, magnésio, zinco e manganês contrastando com os solos naturais. Em função da coloração escura da camada superficial, tais solos são conhecidos por designações como *Terra Preta*, *Terra Preta de Índio*, *Terra Preta Antropogênica* e *Terra Preta Arqueológica*. As características das Terras Pretas TPs (e de outros solos antrópicos) podem ser altamente variáveis entre sítios (Smith, 1980) e dentro de sítios (Kern, 1988, 1996), dando origem a diferentes tipos de indivíduos TP. Essas diferenças explicam porque o termo “Terra Preta” tem significado distinto para diferentes pessoas (arqueólogos, antropólogos, etnólogos, geógrafos, agrônomos, pedólogos, caboclos), não raro dificultando o intercâmbio de informações.

O crescente conhecimento produzido por especialistas de diversas áreas e a consciência da diversidade de indivíduos TP têm gerado uma demanda para a organização das informações, objetivando dar suporte à pesquisa e, neste contexto, orientar a identificação e a classificação dos tipos de TPs amazônicas. Assim, com base no interesse multidisciplinar manifestado no First International TPA Workshop (Manaus, julho de 2002), foi proposta a Legenda de Classificação Arqueopedológica (LCA), no intuito de promover a interdisciplinaridade das várias áreas de pesquisa engajadas com ambientes desses solos (Kämpf et al., 2003). A LCA identifica classes de Arqueoantrossolos, distinguindo a variedade de TPs amazônicas e de outros solos antrópicos antigos.

Terra Preta: Processo e Produto

Sítios de ocupação humana pré-histórica na Amazônia são comumente encontrados próximos a cursos de água, ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes e a terra firme interior em extensões de menos de um hectare disseminados em solos de terra firme, até vários quilômetros quadrados ao longo dos rios e interflúvios. Entre esses sítios são mais conhecidos os nominados *Terra Preta* (TP), além de uma variante menos evidente, a *Terra Mulata* (TM). As TPs são encontradas em uma variedade de tipos de solo (Smith, 1980; Kern et al., 2003), e no campo são identificadas por feições não usuais para solos amazônicos de terra firme, tais como a camada superficial de coloração escura (bruno-escura à preta) e a presença de artefatos de cerâmica e líticos. Sua elevada fertilidade química (altos teores de C orgânico, Ca, Mg, P e microelementos) também contrasta com os solos circunvizinhos usualmente pobres em nutrientes para as plantas (Sombroek, 1966; Falesi, 1972; Smith, 1980; Eden et al., 1984; Kern & Kämpf, 1989; Lima et al., 2002).

O termo “Terra Preta” abrange uma grande variabilidade de características de solo, como expressão do processo de formação e do ambiente local. Devido à amplitude de cores (do cinzento ao preto) da camada superficial das Terras Pretas, Woods & McCann (1999) propuseram que esses solos sejam referidos de forma mais abrangente como “Terras Escuras” (*dark earths*, Amazonian Dark Earths), termo este utilizado em publicações recentes (Lehmann et al., 2003; Glaser & Woods, 2004). No Brasil, há preferência pelo termo original *Terra Preta* (e as demais expressões de TPs acima citadas, bem como *Terra Mulata*) por ser historicamente arraigado na Região Amazônica e familiar ao público interessado - do caboclo ao cientista - nas suas implicações locais (Kämpf & Kern, 2005).

Das diversas teorias sobre a gênese das Terras Pretas (Falesi, 1972; Smith, 1980; Kämpf & Kern, 2005), atualmente está confirmado que se formaram por atividade humana relacionada a assentamentos e práticas agrícolas de indígenas pré-colombianos (Ranzani et al., 1970; Smith, 1980; Eden et al., 1984; Pabst, 1985; Andrade, 1986; Correa, 1987; Mora et al., 1991; Kern, 1988 e 1996; Neves et al., 2003). Datações por radiocarbono de sítios TP agrupam-se em 1500 anos antes do contato europeu (Eden et al., 1984; Andrade, 1986; Petersen et al., 2001), entretanto, há relato de TPs pré-cerâmicas com datações em torno de 4800 AP (Miller, 1999). Esse antigo processo humano de formação do solo foi interrompido no início do período histórico com o avanço dos colonizadores europeus, e o rápido desaparecimento (por enfermidades, escravização, dispersão) da população indígena (Moran, 1990). Por constituírem evidência de assentamentos permanentes ou semipermanentes pré-históricos, extensos e populosos, provavelmente associados com lavouras permanentes ou semipermanentes, as TPs registram a dinâmica da ocupação humana no pré-histórico tardio, mostrando a viabilidade agrícola e suas implicações para o desenvolvimento contemporâneo da Amazônia.

Histórico da Classificação e Caracterização de TPs

Classificação popular

Conforme German (2003a, b), a classificação indígena e popular de solos amazônicos, e particularmente das TPs, é extremamente limitada. A maioria dos residentes (caboclos) das regiões de águas pretas da Amazônia Central reconhece que, no seu estado natural sob floresta, a TP é resultado de queimadas, entretanto não a compreendem como um produto antropogênico. Novos sítios de TP são identificados com base na composição e estrutura distinta da vegetação desses locais (McCann, 1999). Os agricultores fazem distinção, ainda, entre “Terra Preta” e “Terra Comum” (usualmente Latossolos), e diferenciam as TPs entre si por coloração (preta a quase branca), ou por textura (arenosa à argilosa), atribuindo a melhoria na qualidade das TPs ao teor crescente de argila. Eles também reconhecem diferenças na dinâmica de nutrientes entre as TPs, tais como a tendência para uma recolonização mais rápida desses sítios por espécies sucessionais precoces. A preferência por esses solos deve-se, geralmente, à sua capacidade de permitir o cultivo de uma maior diversidade de culturas. Entretanto, como as TPs mostram uma alta variabilidade no rendimento das culturas, os agricultores também estão cientes da variação entre esses solos, expressa nas palavras de um agricultor: “cada TP é diferente, uma da outra”. (German, 2003b). Woods & McCann (1999) relatam uma classificação e “ranqueamento” da fertilidade de TPs por agricultores na região do baixo Tapajós, próximo a Santarém, Pará: entre os solos, a Terra Preta é qualificada como a mais fértil, seguindo-se o solo argiloso (barro), enquanto que o solo arenoso (areião) é o menos fértil. Alguns indivíduos reconhecem variedades de Terra Preta superior (legítima) e inferior (fraca), que parecem corresponder à distinção entre TP e TM, respectivamente.

Verifica-se, portanto, que a noção dos agricultores locais acerca da variabilidade do solo é expressa em uma classificação funcional de TPs baseada, principalmente, em duas características físicas do horizonte superficial: coloração (preta a quase branca) e textura (argilosa à arenosa). Como essas características estão associadas a qualidades do solo (*e.g.*, teor de MOS, CTC, retenção de umidade etc.), essa classificação é útil para avaliar a aptidão do solo local e a seleção de culturas. Os agricultores não parecem considerar a espessura das TPs, em acordo com os relatos de que classificações populares usualmente são derivadas somente de propriedades de horizontes superficiais (Williams & Ortiz-Solorio, 1981).

Caracterização e classificação científica

Estudos arqueológicos e pedológicos

Com notáveis exceções, sítios de TP têm sido estudados de forma independente por arqueólogos e pedólogos, ou seja, o mesmo objeto sendo caracterizado por diferentes procedimentos. Os arqueólogos fazem uso das cores escuras das TPs amazônicas para estimar a extensão e a profundidade dos sítios arqueológicos, enquanto que a identificação do sítio é baseada no seu registro arqueológico. De acordo com os conceitos clássicos da arqueologia, as TPs são amostradas estratigraficamente em trincheiras, separando-se camadas com 10cm de espessura onde são coletados os artefatos culturais por peneiramento e descarte da fração terra fina (\square 2mm). Os sítios arqueológicos de TP são identificados por códigos e nomes locais e classificados de acordo com a fase cultural ceramista, como expressão de uma comunidade ou período particular, e.g., PA-SA-41: Recreio, fase Tijoca (Correa, 1987). A fração terra fina vem recebendo, atualmente, uma atenção maior dos arqueólogos que trabalham em sítios com TP, incluindo a análise química dos estratos (Heckenberger et al., 1999) e análise palinológica (Mora et al., 1991; Mora, 2003).

No procedimento pedológico, um perfil de solo “representativo” é examinado até a profundidade de 1,20m ou mais; os horizontes pedogênicos são caracterizados e identificados conforme descrição padronizada (Lemos & Santos, 2002), e amostras da fração \square 2mm são coletadas para análise em laboratório, para a usual caracterização segundo critérios pedológicos. Para o pedólogo, a camada escura superior da TP compreende um horizonte A antropogênico, que pode preencher os requisitos de um horizonte diagnóstico antrópico (Embrapa, 1999), um epipedon antrópico (Soil Survey Staff, 1998), um horizonte A fimico (FAO, 1988) ou um horizonte hórtico (legenda WRB, FAO -ISRIC-ISSS, 1998). Mesmo reconhecendo-se a grande variabilidade dos solos dentro dos sítios TP, usualmente tem sido selecionado como perfil de solo TP “representativo” do sítio um (único) exemplar que caracteriza a máxima expressão da ação antrópica local. Dada a amplitude de variação dos sítios TP, o exame de perfis de solos em transectos (Kern, 1988) ou grades (Kern, 1996), possibilita uma análise mais acurada da variabilidade espacial. Além disso, à caracterização pedológica usual (morfologia e análises físicas e químicas) devem ser associados procedimentos de amostragem e analíticos adequados (micromorfologia, palinologia, EDS, NMR, microbiológicos, datação etc.) para testar as mais diversas hipóteses relacionadas com a formação das TPs (práticas de cultivo e manejo, fontes de nutrientes, estabilidade da matéria orgânica etc.).

A interação de arqueólogos e pedólogos, denominada de pedo-arqueologia, apesar de ser um fato relativamente recente na pesquisa de solos antrópicos amazônicos (e.g., Smith, 1980; Eden et al., 1984; Andrade, 1986; Kern, 1988, 1996; Woods, 1995; Heckenberger et al., 1999; Woods & McCann, 1999), já contribuiu para a formulação de novas concepções desse tema desafiador.

Classificação dos solos Terra Preta

Os sítios de TPs podem corresponder a várias classes de solos, tais como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos, Espodossolos e outros (Embrapa, 1999). As TPs podem ser identificadas, também, como Fimic Anthrosols (FAO, 1988), Plaggic ou Hortic Anthrosols (legenda WRB, FAO -ISRIC-ISSS, 1998). Entretanto, por serem concebidos para fins de levantamento de solos e respectivas interpretações, principalmente para agricultura, os sistemas de classificação pedológica têm se revelado pouco eficientes no agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos antigos, não sendo, portanto, a forma desejada pelos especialistas das diversas áreas do conhecimento envolvidas na pesquisa desses solos (arqueologia, antropologia, etnologia, ecologia, geoquímica, biologia, ciência do solo, geografia e outras). Isso se torna mais evidente quando é lembrado que os sistemas de classificação pedológica dão maior ênfase às propriedades dos horizontes subsuperficiais, por serem, em curto prazo, menos suscetíveis a modificações por atividades humanas atuais e futuras.

Tanto no SiBCS (Embrapa, 1999) como no Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998), a influência da atividade humana (antiga e atual) é, de fato, definida muito vagamente por um horizonte diagnóstico antrópico. Assim, quando no SiBCS as TP são classificadas como Latossolos Amarelos distróficos antropogênicos, a influência antrópica é reconhecida apenas no quarto nível hierárquico e, mesmo assim, de forma genérica.

Diferentemente, a legenda WRB, através da classe Antrossolos, distingue solos formados ou profundamente modificados por atividades humanas chamadas de processos antropodogênicos, tais como adição de materiais orgânicos (resíduos domésticos) ou cultivo. Por definição, Antrossolos têm horizontes antropodogênicos (do Grego *anthropos*, humano, e *pedogenesis*, formação do solo), nos quais os horizontes hórtico e plágico e, possivelmente, térrio são aplicáveis na classificação de solos antrópicos amazônicos antigos. A maioria dos pedólogos concorda que as TP compreendem diferentes tipos de Antrossolos Hórticos (Sombroek et al., 2002); entretanto, muitas TP são excluídas da classe Antrossolos por não preencherem o requisito de espessura ($\geq 50\text{cm}$) para o horizonte diagnóstico (Sombroek, 1966; Smith, 1980; Pabst, 1985; Andrade, 1986; Kern & Kämpf, 1989; Kern, 1996; Lima, 2001). Além disso, mesmo preenchendo o critério de Antrossolo, para os usuários supracitados, os diferentes tipos de TP não são distinguidos satisfatoriamente. Não obstante a questão da admissão ou da exclusão de um solo de determinado grupo ser inerente a todas as classificações, do ponto de vista arqueológico ou antropológico, é particularmente difícil aceitar que uma influência antrópica não seja relevante na identificação (ou caracterização) de um solo.

Bases para uma Classificação de Terras Pretas

Processo: natural - cultural

A formação de solos sob o ambiente natural via pedogênese é classicamente expressa como $S = f(c, o, r, m, t)$, onde S (solo) é o produto da interação dos fatores ambientais, clima (c); organismos (o); relevo (r) e material de origem (m) atuando ao longo de um tempo (t). As atividades humanas podem ser incluídas no fator organismos, ou destacadas como o fator antrópico (a) atuando na formação do solo. Priorizando-se a atividade humana, a formação de solos antrópicos pode ser expressa como $S = f(a)_{c,o,r,m,t}$ com o reinício da pedogênese a um novo tempo zero.

O processo de formação dos solos TP e de outros solos afetados pela ação humana pré-histórica, presumivelmente, compreende três vias principais, com graus variáveis de sobreposição ou interação: (1) atividades *antrópicas* não intencionais, desenvolvidas por assentamento (habitação) ao longo prazo, com adições casuais de resíduos domésticos, conhecidas como modelo “lixreira” (Smith, 1980; Kern, 1988); (2) atividades *antropogênicas* intencionais, baseadas em cultivos intensivos em clareiras (modelo mosaico; Denevan, 1998), com atividade agrícola (permanente ou semipermanente) de longa duração, baseada em recorrente remoção da vegetação e combustão incompleta de material orgânico (i.e., acumulação de carbono pirogênico; Glaser, 1999), chamadas de modelo “agrícola” (Woods & McCann, 1999; McCann et al., 2001); e (3) atividades *antropogeomórficas* intencionais, baseadas em construções de terra, edificação de aterros para assentamentos e sepultamentos, com cultivo em canteiros elevados, chamadas de modelo “construtor”.

Enquanto o modelo “lixreira” originou a “Terra Preta”, o modelo “agrícola” formou a “Terra Mulata” (Sombroek, 1966; Andrade, 1986). Ambas são igualmente ricas em carbono orgânico, mas a TP, que tende a apresentar uma coloração mais escura, é mais rica em P, Ca e outros elementos, além de conter abundantes artefatos culturais (cerâmicas, líticos), o que atesta sua formação pela deposição de resíduos domésticos. A TM tem tipicamente coloração bruno-acinzentada escura (10YR 4/2 ou mais escura), com teores de P e Ca similares aos solos naturais (não antropogênicos), escassos artefatos culturais e um teor mais elevado de carvão. Tais propriedades indicam práticas de manejo do solo (especialmente corte da vegetação e queimadas) de longo prazo sob agricultura intensiva (Woods & McCann, 1999). Criada por assentamentos permanentes ou semipermanentes associados com cultivos

permanentes ou semipermanentes. A TP, provavelmente, também foi cultivada pelos antigos ocupantes. Por sua vez, o modelo “construtor” abrange também solos sem feições de TP, como os tesos da Ilha de Marajó ou como assentamentos e cultivos em aterros artificiais (Roosevelt, 1991); aí se incluem também os camalhões e plataformas de cultivo nos Llanos de Moxos, da Amazônia Boliviana (Erickson, 1995), do Suriname e Guiana (Denevan, 2001), bem como edificações de terra em escala menor, tais como montículos de sepulturas coletivas, escavações de defesa, estradas (Heckenberger et al., 1999) e outras.

Considerando as vias de formação mencionadas, as Terras Pretas e outros solos afetados por atividades humanas antigas podem mostrar que: (1) a atividade antrópica está impressa na camada superficial de determinada classe de solos (e.g., Latossolos, Argissolos), como resultado de atividades relacionadas à habitação ou a práticas de manejo do solo, as quais imprimiram modificações à camada superficial original; (2) a atividade antrópica adicionou material orgânico e/ou mineral (sedimentos) à superfície original do solo, desta forma enterrando e/ou misturando-o à camada superficial original; (3) a atividade antrópica movimentou material de solo (terra), construindo aterros para fins diversos, desta forma misturando ou soterrando o solo local.

Ainda, esses solos podem compreender um depósito com uma seqüência alternada de períodos de acreção (antrópica, fluvial e/ou eólica), erosão e estabilização. Em adição, a pedogênese subsequente (bioturbação, lixiviação, melanização etc.) pode ter obscurecido parcial ou totalmente o registro (Woods, 1995). Uma comparação de TP com os solos circundantes mostra horizontes B transformados em horizontes AB e BA, por melanização e bioturbação bem como a transferência de P para horizontes mais profundos via lixiviação e processos pedogênicos (Pabst, 1985; Kern & Kämpf, 1989; Woods, 1995; Lima et al., 2002). Em outros casos, solos TP podem ter sido desenvolvidos em tempo relativamente curto, e.g., em montículos de sepulturas construídas com material de solo TP, com ou sem adição de artefatos culturais; sendo, a partir daí, submetidos à pedogênese subsequente. Presentemente, os solos TP registram a influência de antigos processos antrópicos, antropogênicos e/ou antropogeomórficos, associados aos processos pedogênicos precedentes e subsequentes. Em consequência, as características das TPs (e de outros solos antrópicos) podem ser altamente variáveis em todas as escalas, entre sítios (Smith, 1980) e dentro de sítios (Kern, 1988, 1996), (e.g., espessura da camada escura, teores de C orgânico, P e Ca, abundância de artefatos culturais etc.), dando, assim, origem a diferentes tipos de indivíduos TP.

Propriedades morfológicas, físicas, químicas e culturais

Conforme mencionado, as TPs são identificadas e distinguidas dos solos circundantes por algumas propriedades particulares, que são observáveis no campo (e.g., cores escuras (Munsell); espessura da camada escura; presença de fragmentos de cerâmica, materiais líticos e fragmentos de carvão; textura etc.) e/ou mensuráveis no laboratório (e.g., reação do solo (pH); teor de C orgânico; teores de P, Ca, Mg e micronutrientes (Mn, Zn etc.); densidade do solo etc.). A maioria dessas propriedades, como assinaturas antrópicas impressas, formam a base para a classificação dos solos. Entretanto, uma classificação de TPs, ou de qualquer tipo de solo, requer dados obtidos por procedimentos específicos (métodos e unidades padronizadas). Neste contexto, as propriedades do solo com potencial para propósitos de classificação e seus respectivos procedimentos de caracterização são listados e brevemente comentados no seguimento.

- Morfológicas: usuais descrições pedológicas de características de perfis de solos: cor, textura, estrutura etc.; seqüência de horizontes pedogênicos; teor de artefatos por estimativa visual, baseada em gráficos de quantidade de área coberta (USDA, NRCS, 1988:7-1; Lemos & Santos, 2002).
- Físicas: teor de fração grosseira ($> 2\text{mm}$), e estimativa do teor de artefatos (cerâmicos, líticos, conchas, ossos etc.) e proporções em g kg^{-1} ; tamanhos de partícula da terra fina (areia, silte, argila) em g kg^{-1} ; densidade do solo. Métodos: Embrapa, 1979; USDA, NRCS, 1996; Klute, 1986; Reeuwijk, 2002.

- Químicas: pH (em água; CaCl₂ 0,01 M) razão sólido:solução 1:2,5 ou 1:2; teor de C orgânico (g kg⁻¹) por oxidação úmida com dicromato-K conforme Walkley-Black modificado (Embrapa, 1979; USDA, NRCS, 1996; Nota: teor C Embrapa x 1,5 = teor C NRCS) ou por ignição. Identificação de carvão e teor (tentativamente) por espectroscopia NMR ¹³C (Skemstad et al., 1999; Glaser, 1999; Glaser et al., 2003); ou por peneiragem e pesagem (g m⁻²) de fragmentos de carvão (Sanford & Horn, 2000). Cátions básicos trocáveis (Ca, Mg) por extração com KCl 1M (Embrapa, 1979) ou NH₄OAc 1M a pH 7 (USDA, NRCS, 1996) [correlação: $y = 0,995x - 0,068$, onde y é Ca+Mg por SCS e x é Ca+Mg por Embrapa (Ikawa, 1978)]. Al extraível por KCl 1M (Embrapa, 1979; NRCS, 1996). Acidez extraível (Al+H) por Ca(OAc)₂ pH 7 (Embrapa, 1979) ou por NH₄OAc pH 7 (USDA, NRCS, 1996). Saturação por bases (V%), correlação: $y = 0,833x - 4,333$, onde y é V% SCS e x é V% Embrapa (Embrapa, 1999). P extraível conforme Mehlich-1 (Olsen & Summers, 1982); P total por fusão com HF-HClO₄ (Kern, 1996) ou digestão com HNO₃/HCl (Olsen & Summers, 1982). Micronutrientes (Mn, Zn, Cu etc.) por extração com oxalato de amônio ácido (Schwertmann, 1964) ou DTPA. Matéria orgânica do solo (MOS): fracionamento em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina. Métodos: Embrapa, 1979; Page, 1982; USDA, NRCS, 1996; Reeuwijk, 2002.
- Microscópicos (óticos, SED; EDS): presença e teor de ossos, espinhas de peixes etc., como fontes de P (Lima et al., 2002; Ruivo et al., 2003). Análises palinológicas e de fitólitos como suporte de uso agrícola antigo (Mora et al., 1991; Mora, 2001 e 2003).
- Biológicos: não considerados no presente estágio, devido à escassez de dados (Thies & Suzuki, 2003).
- Levantamento do sítio: prospecção e amostragem com trado ao longo de transeções localizadas em função da maior variação topográfica, e por grade em superfícies planas; amostragem dos solos circunvizinhos como referência (Kern, 1988, 1996), e levantamento de possíveis modificações antrópicas na vegetação (Woods & McCann, 1999; McCann, 1999; Clement et al., 2003); geologia regional e local, geomorfologia, levantamento geoquímico e estratigrafia arqueológica.

Comentários sobre os procedimentos de campo

Há muitos casos onde supostos solos antrópicos não apresentam evidência inequívoca de atividades humanas antigas, dificultando a identificação da sua origem antrópica. Enquanto a presença de artefatos é uma evidência inquestionável, outras características, como uma camada superficial de coloração escura e elevados teores de C orgânico, não são *per se* uma garantia para a identificação positiva de TP. Nesse caso, a compatibilidade ambiental das características do solo deve ser examinada para verificar possíveis anomalias pedogênicas. Por isso, a análise de um sítio não pode ser limitada a um único perfil de solo, pois sítios antrópicos têm uma alta variabilidade espacial. Também é recomendável examinar a circunvizinhança do sítio quanto a vestígios de atividade humana antiga, na forma de anomalias no microrrelevo, ocorrência de artefatos (e.g., cerâmica, líticos etc.), que possam apoiar uma extensão da influência antrópica ao sítio em questão (propriedades relacionais). É sempre interessante incluir uma comparação de perfis com os solos dominantes circunvizinhos.

Comentários sobre os procedimentos de laboratório

Alguns aspectos dos procedimentos de caracterização das TPs, usados para a sua classificação, são comentados a seguir. Um dos itens é a forma de fósforo (P) mais adequada para caracterizar a assinatura antrópica nas TPs: o P extraível (algumas vezes referido como disponível para as plantas) ou o P total (Woods et al., 2000). Na maioria dos estudos dos solos TP no Brasil tem sido usado o P extraível pelo método Mehlich-1, que é o mais adequado para solos ácidos, enquanto a extração conforme Olsen (mais adequada para solos com carbonatos) é usada com menos frequência. Fusões ácidas (HF-HClO₄; HNO₃/HCl; ou H₂SO₄ e outras) para determinar o P total têm sido usadas em muitos casos, enquanto a extração do P com ácido cítrico é raramente aplicada (Kern, 1988; Lima, 2001).

Argumentos que favorecem ao uso de P extraível segundo Mehlich-1 são o seu amplo uso nos laboratórios de análise de solo brasileiros, bem como os numerosos dados (também brasileiros) de TPs já disponíveis. A inconveniência da forma P extraível (por qualquer método) são situações onde há depleção por cultivos recentes e variações sazonais devido a condições de umidade do solo; nesses casos, a forma P total seria a melhor opção. Entretanto, o P total também tem seus senões, como por exemplo, quando o material de origem apresenta um alto teor de P total. Conforme relatado por Kern (1996) e Costa & Kern (1999), ao contrário do P extraível, o teor de P total não discriminou solos TP do Latossolo Amarelo circunvizinho. Em consequência, na caracterização de TPs é conveniente analisar ambas as formas de P, a extraível e a total. Adicionalmente, o teste de diferentes formas de P (P-Ca, -Fe, -Al, -orgânico) para caracterizar a dinâmica do fósforo nas TPs pode oferecer novas perspectivas (Woods, 1977; Heckenberger et al., 1999; Lima, 2001). A extração de P com ácido cítrico, além das dificuldades operacionais, aparentemente não acrescentou informação à caracterização do P em TPs conforme os resultados similares ou menores que o P extraível com Mehlich-1 (Kern & Kämpf, 1989; Lima, 2001). Ainda, deve ser mencionada a confusão na expressão dos resultados, onde o P elementar é frequentemente igualado com várias formas de fosfato (P_2O_5 , PO_4^{3-} e outras) que requerem conversão matemática para uma comparação quantitativa (Woods et al., 2000). A unidade recomendada para expressar o teor de P elementar é $mg\ kg^{-1}$ de terra fina.

Proposição de Legenda de Classificação de Terras Pretas de Índio e Outros Solos Antrópicos Antigos

Apesar de haver restrições por insuficiência de dados (Sombroek et al., 2002), é oportuno e válido pensar-se em uma legenda de classificação específica para TPs amazônicas. Uma proposta nesse sentido faz uso dos princípios de classificação (Cline, 1949) e adapta termos usados em sistemas de classificação de solos já vigentes (WRB, U.S. Soil Taxonomy, SiBCS, Australiano).

Conforme Cline (1949), “o processo de classificação envolve a formação de classes através do agrupamento dos objetos com base em suas propriedades comuns” e, ainda, “o objetivo da classificação é organizar o conhecimento de maneira que as propriedades dos objetos possam ser lembradas e as suas relações possam ser mais facilmente entendidas para um objetivo específico”. As bases para o grupamento são algumas *características diferenciais* selecionadas: os indivíduos similares nestas características são colocados no mesmo grupo, enquanto os dissimilares são colocados em grupos diferentes. Uma característica diferencial tem *características acessórias* covariantes que também são importantes; p.ex., teores elevados de C orgânico implicam alta CTC. Além disso, na identificação e classificação de solos antrópicos são consideradas observações e dados *relacionais*, como por exemplo: registros históricos, feições geomorfológicas, uso da terra e comparação com solos naturais circunvizinhos.

Conforme mencionado, o termo *Terra Preta* está estreitamente associado com propriedades de solo surpreendentes, que contrastam com os conceitos de uma Região Amazônica prístina. Aspectos apreciados por ocupantes atuais (caboclos) e cientistas (arqueólogos, antropólogos, etnobotânicos, pedólogos e outros), desde a alta fertilidade química dos solos até extensos sítios arqueológicos, exemplificam a habilidade dos antigos habitantes em superar as restrições ambientais. Isso estimula a manter-se a coloração do solo (preta, escura, bruna) como um critério de classificação para esses solos, na forma das expressões Terra Preta e Terra Mulata. Nesse sentido, uma comparação de amostras da camada superficial de 24 perfis de solos (Tabela 1), reconhecidos como TPs (Tabela 2), agrupados de acordo com a sua respectiva coloração (Munsell) preta (ebânica) ou cinzenta, mostra que os valores médios de C orgânico, fósforo, cálcio, magnésio, pH, saturação por bases (V%) e CTC são mais elevados nas amostras pretas. Todavia, a amplitude dos valores mínimo e máximo de ambos os grupos, cinzento e preto, compreende uma larga sobreposição dos valores de todas as propriedades consideradas. Isso mostra que a coloração da camada superficial, apesar de atraente, não é uma característica diferencial adequada para iniciar uma classificação desses solos.

Tabela 1. Estatística descritiva de grupos cinzento-escuro (cinzentas) e pretas (ebânicas) de amostras da camada superficial de solos terra preta. [Os termos cinzento e ebânico são definidos na seção 5.2.2.].

| Estatística descritiva | pH | Carbono orgânico g/kg | Ca cmol/kg | Mg cmol/kg | CTC cmol/kg | P mg/kg | V % | Argila g/kg |
|----------------------------------|------|-----------------------|------------|------------|-------------|---------|-----|-------------|
| Amostras cinzentas, n = 8 | | | | | | | | |
| Média | 5,3 | 23,7 | 4,00 | 0,65 | 13,65 | 136 | 34 | 250 |
| DP | 0,96 | 11,7 | 4,07 | 0,60 | 3,21 | 142 | 30 | 240 |
| CV% | 18,2 | 494,3 | 101,76 | 92,7 | 23,54 | 104 | 89 | 940 |
| Mínimo | 3,7 | 10,2 | 0,20 | 0,10 | 10,00 | 8 | 5 | 20 |
| Mediana | 5,3 | 21,0 | 2,80 | 0,50 | 13,10 | 92 | 28 | 210 |
| Máximo | 6,8 | 50,0 | 9,90 | 1,90 | 18,50 | 427 | 83 | 740 |
| Amostras ebânicas, n = 16 | | | | | | | | |
| Média | 5,7 | 47,3 | 9,53 | 1,84 | 19,16 | 655 | 59 | 250 |
| DP | 0,71 | 22,3 | 4,42 | 1,51 | 6,61 | 680 | 18 | 110 |
| CV% | 12,4 | 472,4 | 46,41 | 82,3 | 34,51 | 104 | 31 | 430 |
| Mínimo | 4,6 | 24,0 | 0,20 | 0,20 | 9,10 | 13 | 5 | 20 |
| Mediana | 5,7 | 36,7 | 9,60 | 1,35 | 18,60 | 337 | 60 | 250 |
| Máximo | 6,8 | 98,0 | 16,60 | 6,70 | 38,40 | 2145 | 83 | 450 |

Legenda de classificação arqueopedológica para Terras Pretas e outros solos antrópicos

O objetivo da legenda de classificação arqueopedológica (LCA) é classificar solos afetados por atividades humanas antigas. Solos antrópicos “modernos”, produzidos por atividades humanas atuais (e.g., terra preta nova, antrossolos modernos ou neo-antrossolos etc.) não são considerados na LCA e deverão ser classificados conforme sistemas taxonômicos de solos formais (e.g., como Antrossolos na WRB). Entretanto, não há uma idade (ou data pré-colombiana) limite para a inclusão de antrossolos “antigos” na LCA, mas apenas sua condição de formação antrópica antiga.

A LCA é uma classificação descritiva, que organiza as muitas variações de solos TPs e outros solos antrópicos antigos em grupos (classes) conforme sua similaridade, visando facilitar a comunicação entre as várias categorias de pesquisadores e usuários interessados em solos antrópicos antigos. As classes são construídas segundo processos de formação implícitos (relacionados à atividade antrópica antiga), mas os critérios são baseados em propriedades do solo observáveis (morfológicas) ou mensuráveis (químicas, físicas etc.). Na seleção dessas propriedades, foi priorizada uma fácil identificação no campo e, ou, uma fácil obtenção em laboratório. Devido à elevada variabilidade espacial dentro dos sítios de solos antrópicos, as informações, preferentemente, não são limitadas a um único perfil de solo. Além disso, o contexto espacial é importante para uma adequada identificação e classificação de solos antrópicos, incluindo a comparação com solos naturais circunvizinhos e demais propriedades relacionais.

Horizonte de referência

Os solos considerados são distinguidos de outros solos por propriedades, irreversíveis ou muito lentamente reversíveis, produzidas por atividades antrópicas antigas. Uma certa combinação dessas propriedades define o horizonte de referência (ou horizonte diagnóstico) **arqueoantropedogênico**, que é a base para identificar os **Arqueoantrossolos**, que agrupam as TPs amazônicas e outros antrossolos antigos. O horizonte de referência usualmente irá compreender a parte superior (horizontes

pedogênicos A e AB, ou camadas estratigráficas) do perfil analisado, exceto quando soterrado por sedimentos mais recentes. O reconhecimento do horizonte de referência pode ser baseado em horizontes pedogênicos ou em camadas estratigráficas do perfil de solo, desde que caracterizadas conforme é requerido pela LCA.

O horizonte arqueoantropedogênico (do Grego *arkhaios*, antigo, *anthropos*, humano, e pedogênese) é um horizonte superficial (eventualmente subsuperficial) produzido por atividades humanas antigas continuadas e de longa duração. As características e propriedades deste horizonte foram desenvolvidas por adições e, ou, aplicações de resíduos e materiais orgânicos ou terrosos durante um longo período de tempo, acrescidas da influência de processos pedogênicos subseqüentes (incluindo bioturbação). O **horizonte arqueoantropedogênico** tem as seguintes propriedades:

- espessura de 0,20m ou maior, a partir da superfície ou acumulada nos 0,60m superiores do perfil de solo, ou soterrado por sedimentos mais recentes; e, um ou mais dos seguintes requisitos.
- presença de material arqueológico (fragmentos de artefatos cerâmicos, líticos etc.) em qualquer quantidade; e, ou
- teor de fósforo (P extraível por Mehlich-1) na fração terra fina de 65mg kg^{-1} ou maior; altos teores de P extraível também nos horizontes mais profundos (B, C) apóiam efeitos antrópicos antigos. A confirmação (por microscopia e outros métodos) de fontes antigas de P (P-Ca), e.g., fragmentos de ossos ou espinhas de peixe, é requerida em sítios afetados por fertilizantes modernos e onde não for detectada evidência adicional de atividade antrópica antiga. Em sítios onde o P extraível foi esgotado por cultivo recente, o teor de P total ($\geq 200\text{mg kg}^{-1}$) pode dar apoio à atividade antrópica antiga desde que o teor de P total seja baixo no material de origem do solo. [Conversões: $P \times 2,29 = P_2O_5$; $P_2O_5 \times 0,437 = P$]. E, ou
- teor de carvão de pelo menos 10g kg^{-1} no solo. Em sítios onde não foi detectada evidência adicional de atividade antrópica antiga, o teor de carvão deverá ser maior da superfície até a profundidade de 0,40m ou maior, em comparação aos solos não antrópicos circunvizinhos; [Esta é uma tentativa para distinguir efeitos de fogo antrópico antigo e de fogo natural antigo]; e, ou
- teor de C orgânico de 10g kg^{-1} ou maior na fração terra fina (método Walkley-Black). Na ausência de qualquer outra evidência de atividade antrópica antiga, é requerida uma razão HA/AF $\geq 2,0$ (ácido húmico/ácido fúlvico) ; e, tanto o teor de C orgânico como a razão AH/AF devem ser maiores da superfície do solo até a profundidade de 0,60m ou maior em comparação aos solos circunvizinhos; perfis palinológicos também apóiam uso agrícola antigo; e, ou
- presença de fragmentos de conchas e outros organismos aquáticos, e material cultural (cerâmicas, líticos, artefatos ósseos etc.), de pelo menos 10g kg^{-1} da terra fina; ou em 1% da superfície vertical exposta, por estimativa visual; e, ou
- acumulação de composto terroso ou lama, ou adições de solo, com ou sem materiais culturais. Quando da ausência de materiais culturais, as adições de materiais terrosos deve ser confirmada por evidência de anomalias na topografia do sítio (feições de microrrelevo) e, ou por comparação com perfis e seqüência de horizontes dos solos circunvizinhos; e, ou
- associação espacial evidente do solo com atividades humanas pretéritas (sítios de habitação, lixeiras, construções de terra, lavouras pretéritas, vegetação etc.).

Definições de elementos formativos

A LCA compreende quatro níveis categóricos: o primeiro nível tem apenas um grupo de solos baseado no horizonte de referência, os Arqueoantrossolos. Os níveis subseqüentes (2º, 3º e 4º) consistem em termos qualificativos que são acrescentados como adjetivos ao grupo, permitindo assim a caracterização e distinção de diferentes tipos (classes) de arqueoantrossolos. Nesses níveis inferiores, as unidades são formadas conforme características diferenciais selecionadas. As definições

dos elementos formativos, apesar de baseadas nos dados disponíveis até o presente, são tentativas ou uma previsão para ocorrências presumidas. A Legenda está aberta para adições, exclusões ou transferências de unidades entre níveis.

O segundo nível identifica as classes segundo atributos do solo relacionados a processos antrópicos, antropogênicos e, ou antropogeomórficos inferidos, conforme definido a seguir:

Ágrico - (do Latim *ager*, lavoura) [supõe a formação deliberada do horizonte de referência por práticas agrícolas antigas, tais como derrubada e queima da vegetação, e, ou adição de resíduos ou composto orgânico durante longos períodos de tempo.] Apresenta na fração terra fina: teor de C orgânico $\geq 14 \text{ g kg}^{-1}$ (método Embrapa) ou $\geq 21 \text{ g kg}^{-1}$ (método NRCS); teor de carvão $\geq 10 \text{ g kg}^{-1}$; baixo teor de P disponível ($< 50 \text{ mg kg}^{-1}$) e de P total ($< 200 \text{ g kg}^{-1}$); usualmente baixos teores de Ca+Mg ($< 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); baixo teor de artefatos culturais ($< 10 \text{ g kg}^{-1}$ ou $< 1\%$ por estimativa visual da área coberta na superfície vertical do horizonte). Compreende usualmente os solos identificados como TM. Evidências arqueológicas associadas com estudos paleobotânicos (identificação de fitólitos e, ou polen), caracterizando ecossistemas antropogênicos, podem apoiar a identificação desta classe. [definição do termo modificada de WRB].

Cúltico - (do Latim *cultura*, cultura humana expressa na forma de artefatos) indica um horizonte de referência com alto conteúdo de artefatos culturais ($\geq 10\%$ por estimativa visual da área coberta na superfície vertical do horizonte). Também é usado em combinações, e.g., Culto-ágrico, Culto-hórtico, Culto-térnico, etc. Compreende usualmente montículos de sepultamento e outros depósitos de artefatos culturais (cerâmicas e líticos).

Escálpico - (de *escalpelado*, privado da camada superior) indica um solo antrópico com perda total do horizonte de referência [geralmente por ação antrópica recente], mas que mantém vestígios da condição original na parte remanescente do solo ou nas suas imediações. Também é usado em combinações, tais como Escalpo-hórtico, Escalpo-ágrico etc. Identifica, e.g., solos em sítios de TP minerados como substrato. [Nota: o termo escálpico é aplicado no 3º nível quando o horizonte de referência foi apenas parcialmente removido]. [definição do termo modificada de Isbell, 1996].

Hórtico (do Latim *hortus*, horta) [supõe a formação do horizonte de referência em decorrência de prolongada habitação com adições casuais de resíduos orgânicos domésticos e de material cultural.] Apresenta na fração terra fina, teor de C orgânico $\geq 14 \text{ g kg}^{-1}$; teor de P disponível $\geq 65 \text{ mg kg}^{-1}$; tem usualmente teores de Ca+Mg $\geq 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Tem presença de material arqueológico (cerâmica e líticos) em proporção $\geq 1\%$, por estimativa visual da área coberta na superfície vertical do horizonte. Compreende a maioria das TPs “legítimas”. [definição do termo modificada de WRB].

Prótico - (do Grego *proteros*, precoce) define uma pré-condição ou indica um estágio preliminar de desenvolvimento de um Arqueoantrossolo, detectado por vestígios de resíduos de habitação humana antiga e, ou de atividades humanas antigas. Pode ser usado em combinação com ágrico, hórtico e outros quando estas feições estão fraca ou incompletamente expressas. Por exemplo, a TP no Latossolo Amarelo Caldeirão Embrapa, em Iranduba, é Proto-hórtico devido ao teor de C orgânico abaixo do requerido para Hórtico. [definição do termo modificada de WRB].

Tâmbico (*Shellic*, no original) - (de *tambaqui* ou *sambaqui*, depósito de conchas) indica presença de fragmentos de conchas e outros esqueletos aquáticos, com associação de material cultural (cerâmica, artefatos de conchas e ossos), compreende solos antrópicos (construídos por deposição de conchas) em terraços sambaquis.

Táptico - (do Grego *thaptos*, enterrado) indica que o horizonte de referência está enterrado a 0,40m e 1,0m da superfície do solo. Também é usado em combinações, e.g., Tapto-ágrico. [definição do termo modificada de WRB].

Térrico - (do Latim *terra*, terra) [formado por adição de material terroso na forma de composto ou lama durante longo período ou adição de terra por construção.] Deposição de material terroso com conteúdo de material cultural < 10% (por estimativa visual da área coberta na superfície vertical do horizonte); o teor de P extraível e de C orgânico são usualmente baixos. Também é usado em combinações, e.g., Culto-térrico, Horto-térrico, Agro-térrico etc. Compreende solos em terraços artificiais (tesos), camalhões e outras edificações de terra, distinguidas como elevações anômalas na paisagem (propriedades relacionais). [definição do termo modificada de WRB].

Úrbico - (do Latim *urbanus*, urbano) define um horizonte de referência com vestígios de habitações humanas, alicerces, estradas e outros tipos de obras urbanas antigas. [definição do termo modificada de WRB].

A sobreposição ou interação de processos é identificada por combinações do tipo: Agro-hórtico, Horto-ágrico, Horto-térrico, Agro-térrico etc.

No terceiro nível da legenda, são identificados atributos relacionados com potencial agrícola, intensidade e tipo de uso, densidade populacional, tempo de ocupação etc., expressos em: cor, textura, espessura, fertilidade química, adição de materiais (acrecção) ou constituição, e degradação física. Os termos são listados em ordem alfabética, a seguir:

Cárbico - (do Latim *carbone*, carvão) indica altos teores de carvão ou de MO (valores a serem definidos), na maior parte do horizonte de referência. Possíveis subdivisões: hipercárbico, hipocárbico. [definição do termo modificada de Embrapa, 1999].

Cinzeno (*Grayic*, no original) - expressa cores Munsell (úmida) acinzentadas com valor ≥ 3 e croma ≤ 2 , na maior parte do horizonte de referência. Predomínio de cores acinzentadas, na parte superior ou na parte inferior do horizonte de referência, é expresso respectivamente como epicinzeno ou endocinzeno.

Crômico - (do Grego *khroma*, cor) indica cores Munsell (úmida) com valor ≥ 3 e croma ≥ 2 , na maior parte do horizonte de referência. [definição do termo modificada de Embrapa, 1999].

Cumúlico - (do Latim *cumulare*, acumular) define horizonte de referência com espessura ≥ 60 cm, desenvolvido por acumulação de materiais orgânicos. [definição do termo modificada de WRB].

Dístrico - (do Latim *dys*, mau) expressa baixa fertilidade química na maior parte do horizonte de referência: baixos teores de P disponível e de Ca+Mg, baixa saturação por bases (< 50%), em relação aos valores requeridos para o qualificativo Êutrício (ver abaixo). Os termos epidístrico e endodístrico expressam a ocorrência de propriedades dístricas, respectivamente, na parte superior e inferior do horizonte de referência. [definição do termo modificada de Embrapa, 1999].

Ebânico - (de *ébano*, cor preta) expressa coloração escura, com cores Munsell (úmido) valor e croma < 3, na maior parte do horizonte de referência. Os termos epiebânico e endoebânico expressam a ocorrência de cores ebânicas, respectivamente, na parte superior e inferior do horizonte de referência. [definição do termo modificada de Embrapa, 1999].

Escálpico - (do Português, escalpelado, privado da camada superior) expressa perda parcial do horizonte de referência, geralmente por ação antrópica recente, e.g. por decapagem. [nota: o termo escálpico é aplicado no 2º nível quando o horizonte de referência foi totalmente removido (ver)]. [definição do termo modificada de Isbell, 1996].

Esquelético - (do Português, *esqueleto*, armação) teor de cascalho ou outros fragmentos grosseiros (laterita, petroplintita e outros) entre 400 e 900g kg⁻¹ de solo nos primeiros 0,50 m de profundidade a partir da superfície do solo.

Estrático - (do Latim *strata*, camadas) perfil de solo apresenta dentro de 0,60 m da superfície do solo estratificações de sedimentos eólicos e, ou materiais antrópicos de textura variável e, ou o teor de C orgânico decresce irregularmente com a profundidade. [Nota: eventual conflito entre os qualificativos estrático e flúvico a ser resolvido]. [definição do termo modificada de Isbell, 1996].

Êutrico - (do Grego *eutrophos*, bem suprido) expressa alta fertilidade química na maior parte do horizonte de referência: teor de P extraível $\geq 150 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Ca} + \text{Mg} \geq 8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{pH} \geq 5$ e, ou saturação por bases $\geq 50 \%$ (método Embrapa) ou $\geq 37 \%$ (método NRCS). Os termos epiêutrico e endoêutrico expressam a ocorrência de propriedades êutricas, respectivamente, na parte superior e inferior do horizonte de referência. [nota: solos com alto conteúdo de C orgânico podem apresentar $\text{pH} < 5,0$ e saturação por bases $> 50\%$]. [definição do termo modificada de Embrapa, 1999].

Flúvico - (do Latim *fluvius*, rio) refere-se à presença de sedimentos fluviais novos recebidos a intervalos regulares ou no passado recente. O perfil de solo mostra estratificações de materiais com diferente textura e, ou teor de C orgânico decrescendo irregularmente com a profundidade, dentro de 0,80 m de profundidade contados a partir da superfície (ver estrático). [Nota: eventual conflito entre os qualificativos flúvico e estrático a ser resolvido]. [definição do termo modificada de WRB].

Léptico - (do Grego *leptos*, fino) o horizonte de referência tem espessura $< 0,30\text{m}$. [definição do termo modificada de WRB].

Melânico - (do Grego *melas*, preto) o perfil de solo mostra escurecimento (processo de melanização por presumida transferência de materiais orgânicos), com coloração (Munsell, úmida) com valor e croma < 3 , teor de C orgânico $\geq 10 \text{ g kg}^{-1}$ alcançando da superfície do solo até a profundidade $\geq 0,60 \text{ m}$ em materiais argilosos e $\geq 1,0 \text{ m}$ em materiais arenosos. [Nota: eventual conflito entre os qualificativos cumúlico e melânico deverá ser resolvido]. [definição do termo modificada de WRB].

Mésico - (do Grego *mesos*, intermediário) o horizonte de referência tem uma espessura de no mínimo 0,30 m e $< 0,60 \text{ m}$, isto é, entre léptico e cumúlico (ver).

Mesotrófico - (do Grego *mesos*, intermediário, e *trophe*, nutrir) expressa fertilidade química intermediária (entre êutrico e dístrico) na maior parte do horizonte de referência, devida a teores intermediários (aos requeridos por êutrico e dístrico) de $\text{Ca} + \text{Mg}$, ou P, ou do valor de pH. Os termos epimesotrófico e endomesotrófico expressam, respectivamente, a ocorrência de propriedades mesotróficas na parte superior e inferior do horizonte de referência. [definição do termo modificada de WRB].

Tâmbico (Shellic, no original) - (de *tambaqui* ou *sambaqui*, depósito de conchas) expressa presença de fragmentos de conchas em espessura 0,10 m. [definição do termo original modificada de Isbell, 1996].

Textura - do horizonte de referência, especificada na forma de classes texturais genéricas: muito argilosa (teor de argila $\geq 600 \text{ g kg}^{-1}$), argilosa (teor de argila < 600 e $\geq 350 \text{ g kg}^{-1}$), média (teor de argila < 350 e $\geq 150 \text{ g kg}^{-1}$), arenosa (classes texturais areia e areia franca), siltosa (teor de argila $< 350 \text{ g kg}^{-1}$ e teor de areia $< 150 \text{ g kg}^{-1}$).

| Nome | Grupo de solo WRB |
|---------------|---------------------------------|
| Ácrico | Acrisols |
| Arênico | Arenosols |
| Câmbico | Cambisols |
| Ferrálico | Ferralsols |
| Glêico | Gleysols |
| Lítico | Leptosols |
| Nítico | Nitisols |
| Petroplíntico | Plinthosols concrecionários |
| Plânico | Planosols |
| Plíntico | Plinthosols não concrecionários |
| Regosólico | Regosols |
| Espódico | Podzols |

Operação da LCA (experimental)

A operação da LCA segue as seguintes regras:

- As unidades do 1º e 2º níveis iniciam com letra maiúscula, enquanto que as unidades do 3º e 4º níveis iniciam com letra minúscula;
- O 1º nível consiste de apenas um grupo de solos, os Arqueoantrossolos, identificado pela presença do horizonte de referência arqueoantropodogênico;
- O 2º nível (como qualificativo) é posicionado após o nome do grupo Arqueoantrossolos; e.g., Arqueoantrossolos Hórticos. [nota: na língua inglesa, o 2º nível é pré-posicionado ao nome do grupo]. Exemplos de possíveis combinações dos termos qualificativos do 2º nível: Culto-térnico, Culto-hórtico, Culto-ágrico, Proto-hórtico, Proto-ágrico, Escalpo-hórtico, Escalpo-tâmbico, Tapto-ágrico, Tapto-hórtico, Agro-hórtico, Horto-ágrico etc.;
- As unidades do 3º nível (como qualificativos descritivos) são posicionadas após o nome do 2º nível, conforme a sequência estabelecida (cor, textura, fertilidade química, espessura, acreção ou constituição e eventual degradação física), separadas por vírgulas. Por exemplo: Arqueoantrossolos Hórticos ebânicos, argilosos, êutricos, lépticos.
- A unidade do 4º nível é posicionada após o conjunto de qualificativos do 3º nível e separado deste por vírgula. Por exemplo: Arqueoantrossolos Hórticos ebânicos, argilosos, êutricos, lépticos, ferrálicos.

Os prefixos epi e endo podem ser usados com qualificativos especificados para identificar sua ocorrência, respectivamente, na parte superior e inferior do horizonte de referência.

Sequência operacional da LCA

A sequência operacional da LCA é exemplificada brevemente a seguir.

Unidade do 1º nível

1.1. Solos que têm um horizonte de referência arqueoantropodogênico são Arqueoantrossolos.

Unidades do 2º nível

- 2.1. Arqueoantrossolos que têm um horizonte de referência com propriedades agrícolas são Arqueoantrossolos Ágricos.
- 2.2. Arqueoantrossolos que têm um horizonte de referência com propriedades hórticas são Arqueoantrossolos Hórticos.
- 2.3. Arqueoantrossolos que têm um horizonte de referência com propriedades cúlticas são Arqueoantrossolos Cúlticos.
- 2.4. Arqueoantrossolos que têm um horizonte de referência com propriedades próticas são Arqueoantrossolos Próticos.
- 2.5. Arqueoantrossolos que têm um horizonte de referência com propriedades tâmbicas são Arqueoantrossolos Tâmbicos.
- 2.6. Arqueoantrossolos que têm um horizonte de referência com propriedades térricas são Arqueoantrossolos Térricos.
- 2.7. Arqueoantrossolos que têm um horizonte de referência enterrado dentro de 0,40m e 1,0m da superfície do solo são Arqueoantrossolos Tápticos.

Unidades do 3º nível

O qualificativo das propriedades identificadas é aplicado na seguinte sequência de combinações possíveis:

- **Cor:** ebânico, cinzento ou crômico;
- **Textura:** arenosa, média, siltosa, argilosa ou muito argilosa; [Nota: em caso de haver gradiente textural os qualificativos são separados por barra, p.ex., arenosa/argilosa].
- **Fertilidade química:** êutrico, ou mesotrófico, ou dístrico;
- **Espessura:** léptico, ou mésico, ou cumúlico;
- **Acreção ou constituição:** carbico, esquelético, estrático, flúvico, melânico, ou tâmbico;
- **Degradação física:** escálpico.

Aplicação da LCA

A LCA foi testada com perfis de solos reconhecidos como Terra Preta no campo e por análises de laboratório pela fonte original (Tabela 2). As propriedades do horizonte de referência são aquelas do primeiro horizonte A (ou camada estratigráfica) e, quando necessário, foi tomada a média do primeiro mais o segundo horizonte A (ou camadas estratigráficas) para conformar a espessura mínima requerida ($\geq 0,20\text{m}$) do horizonte de referência. Na maioria dos estudos pedológicos de perfis de solo TP a presença de artefatos culturais é relatada, porém raramente quantificada. Em decorrência, no presente estágio, a presença citada de artefatos é considerada equivalente a um teor mínimo de 1% obtido por estimativa visual. Assim, por exemplo, a presença de artefatos mais os teores de P extraível, C orgânico e Ca+Mg, conforme requeridos no 2º nível para o qualificativo Hórtico, identificam os Arqueoantrossolos Hórticos.

Tabela 2. Classificação de perfis de solos Terra Preta conforme o SiBCS (Embrapa, 1999) e a Legenda de Classificação Arqueo-pedológica (LCA).

| SiBCS | Fonte | LCA |
|--|---|--|
| Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico. | Perfil 32 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Hórtico cinzento, franco, eutrófico, léptico, ferrálico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | Perfil TH-3 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Hórtico epiébânico, franca, epiêutrico/endomesotrófico, mésico, ferrálico |
| Argissolo Amarelo distrófico antropogênico. | Perfil P57 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Hórtico epiébânico, franca, mesotrófico, mésico, ácrico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | Perfil E11 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Hórtico epiébânico, argilosa, mesotrófico, mésico, ferrálico |
| Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico. | Perfil P18 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, franca, epiêutrico, mésico, ferrálico |
| Cambissolo Háptico Tb distrófico antropogênico. | Perfil P27 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, franca, epiêutrico, mésico, câmbico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | Perfil P63 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Ágrico epicinzento, argiloso, distrófico, mésico, ferrálico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | Perfil P14 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Ágrico ebânico, arenoso, dístrico, mésico, ferrálico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | Perfil P34 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Ágrico cinzento, arenosa, dístrico, mésico, ferrálico |
| Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico. | Perfil P15 (Embrapa, 2001/2). | Arqueoantrossolo Hórtico epiébânico, franca/argilosa, epimesotrófico, mésico, ferrálico |
| Argissolo Amarelo eutrófico antropogênico. | Caldeirão CPAA/Embrapa, Iranduba-AM. | Arqueoantrossolo Proto-hórtico cinzento, franca, mesotrófico, mésico, ácrico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | Manacapuru-AM (IPEAN, 1970). | Arqueoantrossolo Hórtico cinzento, argilosa, mesotrófico, mésico, ferrálico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | TPA-1 (Kern & Kämpf, 1989). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, franca, eutrófico, mésico, ferrálico |
| Plintossolo Pétrico concrecionário distrófico antropogênico. | TPA-2 (Kern & Kämpf, 1989). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, argilosa, dístrico, mésico, petroplíntico |
| Argissolo Amarelo distrófico antropogênico. | (Lima, 2001). | Arqueoantrossolo Hórtico cinzento, argilosa, epimesotrófico, léptico, ácrico |
| Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico. | (Lima, 2001). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, argilosa, eutrófico, cumúlico, ferrálico |
| Cambissolo Háptico distrófico antropogênico. | (Lima, 2001). | Arqueoantrossolo Hórtico cinzento, argilosa, epimesotrófico, mésico, câmbico |
| Latossolo Amarelo distrófico antropogênico. | TPA-N, Sítio Manduquinha, Caxiuanã-PA (Kern, 1996). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, franca, mestrófico, léptico, ferrálico |

Tabela 2. Continuação.

| SiBCS | Fonte | LCA |
|--|---|--|
| Planossolo Háplico distrófico antropogênico | TPA-S, Sítio Manduquinha, Caxiuanã-PA (Kern, 1996) | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, franca, mesotrófico, méxico, plânico. |
| Argissolo Amarelo eutrófico antropogênico. | TPA, Sítio Ponta Alegre, Caxiuanã-PA (Kern, 1996). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, franca, êutrico, méxico, ácrico. |
| Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico. | TPA, Sítio Mina II, Caxiuanã-PA (Kern, 1996). | Arqueoantrossolo Hórtico ebânico, arenosa, êutrico, méxico, ferrálico. |
| Neossolo Quartzarênico distrófico antropogênico. | Perfil Araracuara 26 (Andrade, 1986). | Arqueoantrossolo Horto-ágrico ebânico, arenosa, mesotrófico, melânico, arênico. |
| Neossolo Quartzarênico distrófico antropogênico. | Perfil Araracuara 28 (Andrade, 1986). | Arqueoantrossolo Agro-hórtico cinzento, arenosa, mesotrófico, méxico, arênico. |
| Neossolo Quartzarênico distrófico antropogênico. | Perfil Araracuara 29 (Andrade, 1986). | Arqueoantrossolo Tapto-ágrico cinzento, arenosa, distrófico, cumúlico, arênico. |
| Neossolo Quartzarênico Órtico antropogênico. | Perfil 01, Ilha do Pauxis, fazenda Alvorada, Cachoeira do Arari, Marajó-PA Perfil P4, Campo Experimental Min. Agricultura, Santarém-PA (Ranzani et al., In Vieira, 1975:385). | Arqueoantrossolo Proto-hórtico (ou Horto-térrio ?) cinzento, arenosa, mesotrófico, cumúlico, estrático, arênico. |
| Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico. | do Pauxis, fazenda Alvorada, Cachoeira do Arari, Marajó-PA Perfil P4, Campo Experimental Min. Agricultura, Santarém-PA (Ranzani et al., In Vieira, 1975:385). | Arqueoantrossolo Hórtico cinzento, arenosa/argilosa, êutrico, méxico, ferrálico. |
| Latossolos Amarelos. | Vários perfis TP, Belterra-PA (Pabst, 1985). | Arqueoantrossolos Hórticos ebânicos, êutricos, lépticos ou méxicos, ferrálicos. |

Considerações Finais

A LCA foi concebida para atender as necessidades combinadas dos especialistas das diversas áreas do conhecimento (antropólogos, arqueólogos, etnólogos, pedólogos, geógrafos, ecólogos, agricultores e outros) interessados na identificação e na organização das informações sobre solos TP, TM e outros solos antrópicos antigos. Por isso, esta classificação prioriza e enfatiza propriedades do solo relacionadas à influência de humanos antigos mais a pedogênese subsequente. A natureza dinâmica, histórica e variável dos solos antrópicos nos sítios de assentamento requer uma classificação suficientemente flexível e abrangente para representar essa diversidade de forma adequada. Dessa maneira, a LCA requer do usuário um questionamento do objeto em estudo, incluindo sua circunvizinhança e a sua história, servindo de orientação para alcançar uma classificação satisfatória. A LCA é inédita e independente de sistemas formais de classificação de solo, tais como Soil Taxonomy, WRB, SiBCS e outros. No seu estágio atual, a LCA é experimental e incompleta, refletindo as dificuldades e a insuficiência de informações a respeito dos solos abrangidos. O aperfeiçoamento de sua operacionalidade e aplicabilidade depende do interesse crítico de seus usuários. Os autores esperam que, em futuro próximo, sistemas formais de classificação de solos também sejam adequados para uma distinção satisfatória da variedade de solos antrópicos antigos.

Formação de Terra Preta na Região do Alto Xingu: Resultados Preliminares

Morgan J. Schmidt
Michael J. Heckenberger

Os solos antrópicos da Amazônia conhecidos como Terra Preta de Índio, Terra Preta Arqueológica (TPA), ou simplesmente Terra Preta (TP) têm chamado a atenção de cientistas como uma solução possível para a questão da agricultura sustentável em solos pobres e intemperizados que cobrem extensas áreas nos trópicos (Glaser et al. 2004; Madari et al. 2004). Argumenta-se que o estudo da TPA pode contribuir com lições valiosas sobre o potencial de fertilidade de latossolos nos trópicos que pode gerar dados para ajudar no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de uso de solos e ainda descobrir que tipos de práticas de manejo de solos e recursos foram utilizados por grupos humanos no passado (Falcão et al. 2003:256; Lehmann et al. 2003a).

Os solos de Terra Preta são considerados pela maioria dos pesquisadores um componente crítico dos sítios arqueológicos, por apresentarem potencial para revelar as estruturas da sociedade, o uso de recursos e as mudanças ocorridas nos períodos pré-históricos e pós-contato nas comunidades amazônicas (Heckenberger et al. 1999; Peterson et al. 2001; Neves et al. 2003, 2004). Isso torna imperativo que uma perspectiva arqueológica seja sempre considerada ao se tentar responder questões sobre a formação de TPA. Estudos de pedoarqueologia têm observado uma correlação entre as áreas de atividade de sítios-habitação e alterações no solo (Cook & Heizer, 1965; Cavanagh, 1988; Eidt, 1984; Fernández et al., 2002; Mora et al., 1991; Scudder et al., 1996; Wells et al., 2000; Woods, 1984). As investigações prévias realizadas por Heckenberger (1996) e os resultados preliminares apresentados aqui sugerem que essa correlação ocorre nas aldeias indígenas atuais, históricas e pré-históricas na Região do Alto Xingu.

Esta pesquisa foi fundamentada em três questões principais: (1) Como determinadas atividades cotidianas causam modificações nas propriedades químicas do solo de uma aldeia indígena atual? (2) Que modificações ocorrem nos solos após o abandono da aldeia? (3) Os solos antrópicos em sítios pré-históricos apresentam variações nas propriedades químicas semelhantes ou diferentes daquelas encontradas em aldeias históricas e contemporâneas? Essas questões estão sendo abordadas segundo os seguintes objetivos: (1) Estabelecer os parâmetros químicos (“assinaturas”) dos solos, ou seja, os padrões previsíveis para os teores de nutrientes que compõem os solos e tornam distintas as diversas áreas de atividades, dentro e fora das aldeias históricas e da atual; (2) Testar as amostras de solo provenientes de contextos arqueológicos, dentro e fora do sítio, para determinar a sua relação, conforme as variações estabelecidas com os contextos das aldeias históricas e da atual.

A pesquisa está sendo desenvolvida no contexto de uma tese de doutorado¹ e faz parte de um projeto mais amplo intitulado Southern Amazon Ethnoarchaeology que incorpora arqueologia, história oral e etnografia. Seu principal objetivo é entender a pré-história e a história da sociedade xinguana, com ênfase no uso de recursos, cultura material, organização espacial, padrões de assentamentos regionais e organização política e ritual. O projeto tem o apoio do Museu Paraense Emílio Goeldi e o do Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Nos anos de 2002-2005 foi realizado o mapeamento e caracterização dos sítios pré-históricos dentro do território da etnia Kuikuro (Xinguano). A área possui aproximadamente de 1.200 km² e foi definida através de levantamentos regionais, mapeamentos de sítios e estudos cronológicos iniciados

¹O doutorado está sendo desenvolvido por Morgan J. Schmidt no Departamento de Geografia da Universidade da Flórida com orientação Nigel J.H. Smith e Michael J. Heckenberger do Departamento de Arqueologia.

por Heckenberger em 1991 (Fig. 1 e 2) (Heckenberger 1996, 1998, 2001, 2005; Heckenberger et al. 1999, 2003). O mapeamento incluiu também a aldeia atual e estruturas fora dos sítios como estradas, pontes e armadilhas de peixe.

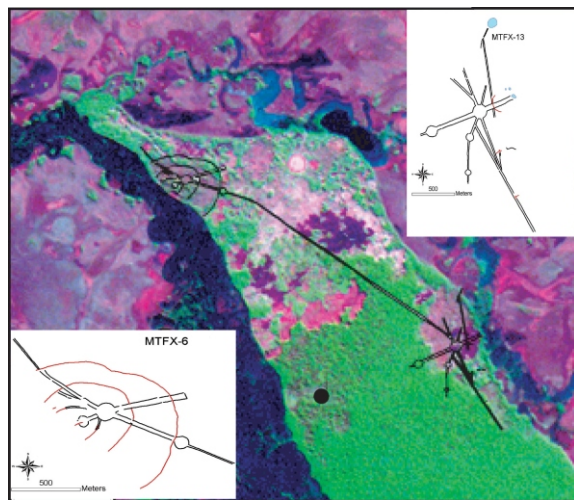
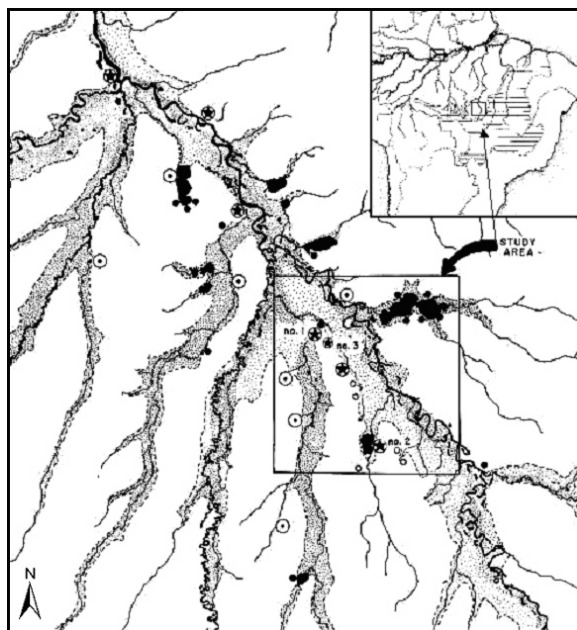


Fig. 1. Mapa do Alto Xingu mostrando a área de estudo. As áreas em preto indicam rios e lagos e as áreas pontilhadas mostram as planícies de inundação. Os círculos indicam a localização dos sítios arqueológicos e as três estrelas da parte superior representam os três principais assentamentos pré-históricos que foram amostrados nessa pesquisa. De norte para o sul são: Nokugu (MT-FX-6); Hialugihitĩ (MT-FX-13); e Akagahitĩ (MT-FX-18).

Fig 2. Mapa de duas aldeias pré-históricas originado através de dados de GPS sobreposto a uma imagem de satélite (Agosto de 1992). Mostra o Sítio Nokugu (MT-FX-6) e Hialugihitĩ (Mt-FX-13) conectados por uma estrada pré-histórica. A estrada continua em direção ao Sul até chegar a outro grande sítio (MT-FX-18: Akagahitĩ) e continua avançando até outros sítios. As áreas mais claras no centro são uma península de floresta em terra firme. As áreas mais escuras no entorno representam a planície de inundação marcada por rios, lagos e campos abertos periodicamente alagados. O círculo claro localizado na parte superior da imagem é a aldeia atual. As alterações antropogênicas da floresta podem ser observadas na imagem de satélite entorno da aldeia atual pelo plantio de mandioca e entorno dos sítios pré-históricos em virtude da presença de TPA. (Heckenberger et al. 2003).



Os trabalhos de arqueologia no Alto Xingu apontam para a continuidade entre a cultura atual e pré-histórica através de evidências da tecnologia de fabricação de cerâmica (refletindo a agricultura da mandioca), dos padrões de assentamento (aldeias com praças circulares) e uso geral da paisagem (estradas, pontes e armadilhas de pesca). A evidente continuidade desde a pré-história até o presente apresenta uma oportunidade única para abordar questões sobre as atividades que resultaram nas variações de solo encontradas nos sítios arqueológicos. Os resultados das análises de solos obtidos para a aldeia atual e para as históricas disponibilizarão dados comparativos que poderão ser relacionados diretamente com as áreas de atividades nos sítios pré-históricos. Com isso, será possível testar se a distribuição dos solos ocorre de maneira consistente ou uniforme, baseada na localização dos artefatos e nas feições dentro do sítio.

Terra Preta Arqueológica

A TPA é caracterizada por sua cor escura, teores elevados de nutrientes e vestígios de cultura material, incluindo cerâmica, líticos e grande quantidade de carvão. Inúmeros estudos têm demonstrado a marcante anomalia que a TPA representa dentro dos Oxisolos e Ultisolos (Latosolos), solos tipicamente ácidos e relativamente inférteis, que predominam na Região Amazônica (Kern & Kämpf 1989; Pabst 1991; Smith 1980). A TPA geralmente apresenta níveis elevados de P, C, Ca, Mg, Mn, Zn e outros nutrientes em relação aos solos em derredor. Os solos de terra preta contêm abundância de carvão e os níveis de CTC, de SB e o pH são mais altos em relação ao solo circunvizinho, tornando-os mais propícios ao desenvolvimento de cultivos. A TPA é bastante variável dentro de um mesmo sítio, por causa das diferenças de intensidade, duração e a natureza das atividades culturais que as formou, bem como dos processos naturais e das atividades ocorridas após o abandono dos sítios.

Foi sugerido que algumas TPA seriam resultado de práticas agrícolas semi-intensivas ou intensivas (Denevan 2004). Argumenta-se que as técnicas de cultivo de corte e queima com longos períodos de pousio, que são, em regra, praticadas hoje em dia, não poderiam ter sustentado grandes assentamentos permanentes como aqueles relatados pelos primeiros cronistas que estiveram na Amazônia (Neves et al. 2003); e que a tecnologia dos machados de pedra, utilizada na derrubada da mata, teria sido um processo de lento resultado, o que, por sua vez, teria obrigado os agricultores a desenvolver técnicas mais intensivas e contínuas de cultivo (Denevan 1992). Até hoje, existem poucas evidências diretas da ocorrência de cultivo intensivo nas áreas de terra firme na Amazônia. Uma dessas evidências seria a, assim chamada, Terra Mulata (TM), que, hipoteticamente, teria originado-se em decorrência das práticas de agricultura intensiva e semi-intensiva. As TM são algumas vezes encontradas circundando uma ampla área ao redor de TPA e caracterizam-se por apresentar: menor quantidade de vestígios culturais, coloração mais clara (marrom), níveis elevados de carbono orgânico (incluindo grande quantidade de carvão) e, ainda, níveis mais baixos de outros nutrientes em comparação com a TPA (Sombroek 1966; Woods & McCann 1999).

Embora os métodos de agricultura relativamente intensivos, como uso de cobertura morta, coivara e adubação orgânica e/ou ciclos curtos de corte e queima sejam considerados como o processo de origem da TM, isso ainda não foi comprovado (Mora et al. 1991; Neves et al. 2003; Woods & McCann 1999). Hecht (2003) sugere que essas práticas de manejo de solos, como as utilizadas entre os atuais Kayapó, podem ser semelhantes àquelas que, no passado, produziram a TPA (Hecht & Posey 1989). Alguns autores recomendam cuidado com a suposição de que a Terra Preta teria sido resultado de práticas de cultivo. Argumentam que as tentativas modernas de melhorar os solos, tais como adubação orgânica com carvão e coivara, não geram mudanças permanentes no solo (German 2003; Smith 1980).

Existem duas hipóteses gerais para a formação de TPA: (1) a antrópica, que teria sido o resultado não intencional da ocupação humana e do descarte do lixo, e (2) a antropogênica, que teria sido resultado do manejo intensivo do solo para a agricultura; contudo, as duas hipóteses não são excludentes. No Alto Xingu, o uso atual, tanto da TPA nos sítios pré-históricos quanto das lixeiras localizadas atrás das casas para cultivo, sugere que a linha entre essas duas hipóteses é muito tênue. Atualmente, os grupos indígenas cultivam plantas que exigem mais nutrientes do solo (como milho e banana) tanto na TPA de sítios pré-históricos (que frequentemente estão muito distantes das casas) quanto nas lixeiras de “terra preta”, que se acumulam nas redondezas da aldeia a mais de 25 anos.

Observou-se durante a pesquisa que os moradores enriquecem áreas de roça de mandioca adjacentes à aldeia com lixo orgânico, cobertura morta e prática de coivara; outrossim costumam aumentar intencionalmente o tamanho das lixeiras espalhando o lixo orgânico no local visando a torná-las mais férteis para o uso em futuros plantios². Essas práticas utilizadas pelos xinguanos representam, assim, um modelo para criação da chamada TM. Dessa mesma forma podemos supor que, em uma

²Essa prática foi observada pelos autores e confirmada em depoimento pelos Kuikuro.

aldeia pré-histórica, os moradores utilizariam lixeiras ou melhorariam intencionalmente o solo para o plantio dentro e ao redor da aldeia. Espera-se que os resultados deste projeto demonstrem que atividades não diretamente associadas ao cultivo e descarte de lixo, tais como atividades domésticas, econômicas e rituais, também poderiam produzir um solo escuro com características de TM ou TPA. Destarte, será ampliado o conhecimento sobre os diversos processos que poderiam gerar a formação de solos antrópicos e suas características.

Os processos que contribuíram para a formação da TPA podem diferir, dependendo das eco-regiões e das práticas culturais. Como Denevan coloca, “sem dúvida, existe uma considerável variação na Amazônia nos tipos das terras pretas, nos seus processos específicos e histórias, nas suas formas de uso e os nos padrões de assentamento associados a elas” (2004:141). O Alto Xingu representa um desses casos, onde ainda há indicações de um processo contínuo de formação de TPA da pré-história até o presente.

Os resultados das análises de solos obtidos para a aldeia atual e para as históricas disponibilizarão dados comparativos, que poderão ser relacionados diretamente com as áreas de atividades nos sítios pré-históricos. Com isso, será possível testar se a distribuição dos solos ocorre de maneira consistente ou uniforme, baseada na localização dos artefatos e nas feições dentro do sítio. Dados químicos de solo podem afirmar ou refutar as interpretações provenientes de escavações arqueológicas, abrirão a possibilidade para a interpretação em áreas que não apresentam artefatos e feições, como também em áreas fora das escavações, além de poder indicar possíveis diferenças no uso dos recursos no passado. Depois de estabelecer as assinaturas para as áreas de atividades nos sítios arqueológicos, as análises de solo poderão ser utilizadas como ferramenta mais efetiva para futuras investigações em outros sítios na área de estudo, podendo, inclusive, ser aplicadas em outras regiões.

As Aldeias Atuais e Históricas

As aldeias atuais no Alto Xingu mostram um padrão consistente no uso do espaço formado por uma praça circular³ de aproximadamente 200 metros de diâmetro, em cujo entorno existe um círculo de casas com suas áreas de atividades associadas, áreas de descarte de lixo e estradas retas oriundas da praça (Fig. 3 e 4). Tomando como base esse padrão, verificou-se, através do mapeamento das distribuições dos artefatos e de alguns testes de solos em uma aldeia abandonada (Fig. 3), que os vestígios culturais foram encontrados conforme o previsto (Heckenberger, 1996). As alterações dos solos desenvolvem-se associadas às áreas de atividade e, por essa razão, são bastante variáveis em todo o sítio. Por causa da fertilidade elevada, especialmente em lixeiras da aldeia atual, tais áreas são utilizadas para a plantação de diversas espécies.

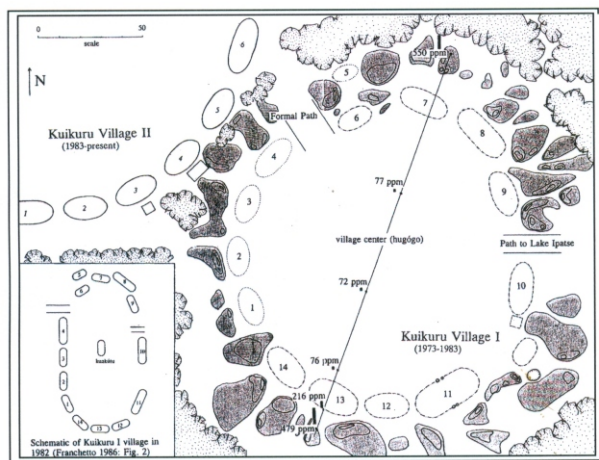


Fig. 3. Mapa da aldeia Kuikuru I ocupada de 1973 a 1983. Os resultados para fosfato estão plotados no croqui ao longo do transect e Tabela 1 mostra valores para outras propriedades do solo (Heckenberger 1996).

³O centro da praça é o centro das atividades comunitárias, políticas e rituais; é também o local da casa dos homens e dos enterramentos.

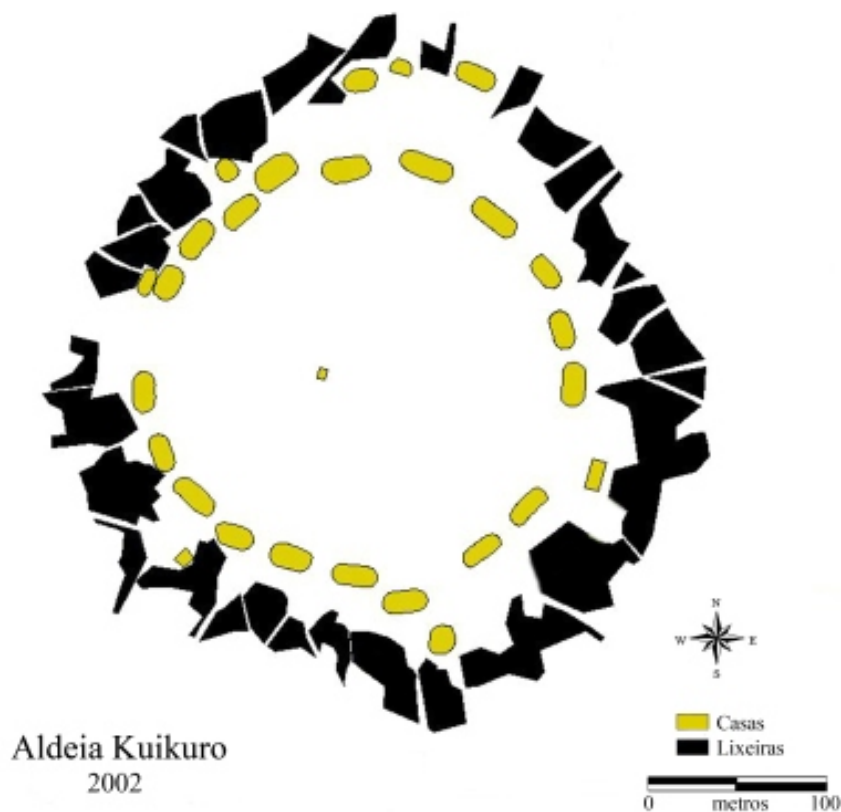


Fig. 4. Mapa da aldeia atual. As áreas pretas representam lixeiras separadas por caminhos e trilhas que começam entre ou nos quintais das casas e prosseguem até fora da aldeia. O quadrado amarelo no meio da praça é a casa dos homens e o centro ritual da aldeia.

Alguns estudos têm demonstrado que as diferenças observadas na química do solo estão relacionadas a áreas específicas de atividades, até mesmo em sítios ocupados durante um curto tempo (Barba & Ortiz 1992; Fernández et al. 2002; Knudson et al. 2004; Terry et al. 2004). Heckenberger (1996) analisou seis amostras de uma aldeia historicamente abandonada (ocupado 1973-1983) provenientes das lixeiras, de dentro de uma casa e na praça (Fig. 3, Tabela 1). Os resultados das amostras coletadas uma década depois do abandono dessa aldeia sugerem que a química do solo varia significativamente em todo o sítio de acordo com as diferentes áreas de atividades.

Tabela 1. Resultados de análises químicas dos solos do Alto Xingu, aldeia histórica Kuikuro I e do Sítio pré-histórico Nokugu (nutrientes disponíveis em mg/kg) (Heckenberger 1996).

| Local | % MO | Mg | Ca | K | Na | pH | P |
|-----------|------|------|-------|------|-----|-----|-----|
| Kuikuro I | | | | | | | |
| Lixeira | 13.5 | 68.7 | 509.2 | 38.1 | 7.2 | 7.5 | 479 |
| Casa | 5.1 | 7.9 | 19.5 | 15.5 | 5.2 | 5.6 | 216 |
| Praça | 5.4 | 5.4 | 14.9 | 10.8 | 5.1 | 5.2 | 76 |
| Praça | 5.4 | 0.3 | 4.1 | 2.1 | 4.1 | 4.6 | 72 |
| Praça | 5.7 | 0.1 | 2.3 | 1.2 | 3.5 | 4.1 | 77 |
| Lixeira | 8.2 | 20.1 | 142.8 | 54.5 | 5.5 | 5.9 | 550 |
| Nokugu | | | | | | | |
| Praça | 5.8 | 9.2 | 52.9 | 4.1 | 6.8 | 5.6 | 299 |
| Doméstico | 7.5 | 18.9 | 143.8 | 3.8 | 5.8 | 6.4 | 556 |

O primeiro objetivo dessa pesquisa é estabelecer as “assinaturas” dos solos baseadas nas propriedades das amostras coletadas em diferentes áreas ou zonas de atividades da aldeia atual e das históricas. As zonas de atividades incluem as lixeiras, as áreas domésticas (em frente à casa, dentro de casa, quintal), a praça (o centro da praça e a praça média ou a área entre as casas e centro da praça) e as áreas fora da aldeia (roças, capoeiras, floresta e áreas de banheiro⁴). As áreas fora da aldeia servirão para estabelecer uma base ou 'níveis estruturais' do solo a fim de fazer a comparação com as áreas mais alteradas.

A expectativa é encontrar uma grande variação na composição dos solos nos sítios arqueológicos e na aldeia atual. Estudos pioneiros de análise química dos solos na arqueologia e etnoarqueologia geralmente enfatizam, na conclusão, a necessidade de promover estudos com um número muito maior de amostras. Esse foi o ponto de partida desta pesquisa. Considerando a variação entre as amostras, é difícil ou impossível tirar conclusões sólidas de uma única amostra. Uma amostra estatisticamente válida deveria ser coletada, especialmente quando está se tentando detectar padrões que poderiam indicar áreas de atividades específicas.

As amostras foram coletadas em contextos ocupacionais contemporâneos e fora dos sítios, nas áreas de roça, campo e floresta. Foram coletadas amostras de uma aldeia atual e de duas aldeias históricas abandonadas durante o século passado. As áreas de atividade nas aldeias históricas têm comparabilidade direta aos padrões espaciais da aldeia atual. Os locais das amostras foram escolhidos com base em mapeamento arqueológico prévio realizado por Heckenberger (1996) e na observação direta das lixeiras (elevadas, solo escuro e cacos de cerâmica abundantes na superfície).

Resultados Esperados das Aldeias

Lixeiras

Formam um círculo descontínuo em torno da borda da aldeia (Fig. 3 e 4). São as áreas que mais se destacam na formação dos solos antrópicos, constituídas principalmente pelo lixo orgânico decomposto e amontoado a uma altura de até aproximadamente 40 cm acima da superfície original. Os resultados obtidos por Heckenberger (1996), para duas amostras de lixeiras, revelaram teores consideravelmente mais altos de nutrientes disponíveis incluindo P (479 e 550 mg/kg), Mg (69 e 20 mg/kg), Ca (509 e 143 mg/kg), K (38 e 55 mg/kg), teores mais altos de MO (13,5 e 8,2%) e níveis ligeiramente mais altos de Na disponível (7 e 6 mg/kg) e pH (7.5 e 5.9) comparados a outras áreas (Tabela 1). Isso sugere que as lixeiras são as zonas com o maior impacto antrópico no solo, criando, na verdade, uma nova camada de solo fértil em cima da superfície original.

Resultados mais recentes (Tabela 2) de duas amostras das lixeiras, também mostram os teores mais altos de todas as amostras analisadas de P (292 e 285 mg/dm³), Ca (236 e 158 cmol_c/dm³), Mg (22 e 15 cmol_c/dm³), Mn (207 e 111 mg/dm³), e CTC (25 cmol_c/dm³); níveis elevados de, Fe (173 e 214 mg/dm³), Cu (2.1 e 1.2 mg/dm³), Zn (3.1 e 7.2 mg/dm³) e de K (0,7 e 0,1 cmol_c/dm³); e teor de Al abaixo dos limites de detecção. Espera-se variações horizontais e verticais consideráveis nas amostras das lixeiras, em virtude da deposição diferenciada de vários tipos de materiais orgânicos.

Ao completar as análises, a expectativa é de que as lixeiras sejam diferenciadas de outras áreas de atividades e dos solos estruturais (áreas fora dos sítios), através de análises estatística multivariável, por apresentarem os níveis consistentemente mais altos para a maioria das propriedades químicas e os níveis de Al abaixo dos limites detectáveis. A expectativa é de que o baixo teor de Al ocorra porque o solo da lixeira permanece separado do solo original, uma vez que ainda não houve tempo para que se misturem.

⁴Áreas destinadas principalmente aos dejetos fecais localizadas fora da aldeia em roças abandonadas com arbustos.

Tabela 2. Seleção dos resultados de 14 amostras de solo do horizonte A de locais em uma aldeia atual, histórica, e pré-histórica, Nokugu (MT-FX-6), de 66 amostras analisadas no Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), Itabuna, Bahia. Os resultados estão ordenados por conteúdo de P disponível. *Sondagens (TP) e as áreas 9 vêm de Nokugu. As localizações são: 1) Lixeira na aldeia atual; 2) Lixeira de uma aldeia histórica (ocupada por volta da década de 1920 a 1930); 3) Sondagem de aproximadamente 2 metros da borda da praça em Nokugu; 4) Área de processamento de mandioca atual; 5) Sondagem 82 m da borda na praça em Nokugu; 6) Área 9, entre as valetas em Nokugu, aproximadamente 160 m da praça; 7) Sondagem a 102 m da praça em Nokugu; 8) Sondagem a 42 m da praça em Nokugu; 9) Sondagem a 22 m da praça em Nokugu; 10) Área de processamento de mandioca atual; 11) Margem da fogueira dentro de casa atual; 12) Área da borda da casa atual. 13) Área 9, localizada a 250 m distante da praça; 14) Fora do sítio aproximadamente 100 metros da valeta de Nokugu, (aproximadamente 450 m distante da praça). Unidades de medida: P, Fe, Zn, Cu, e Mn disponível em mg/dm³. C e N em g/dm³. Al, Ca, Mg, K, e Na, disponível e CTC em cmol/dm³. As análises foram realizadas usando métodos padrões da CEPEC modificado da Embrapa (1997).

| Local | P | C | PH | CTC | Al | Ca | Mg | K | Na | N | Fe | Zn | Cu | Mn | Ag | Af | Silte | Arg |
|------------|-----|------|-----|------|-----|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| Lixeira1 | 292 | 56.4 | 4.5 | 25.3 | 0 | 236 | 22 | 0.7 | 0.07 | 1.3 | 173 | 3.1 | 2.1 | 207 | 356 | 298 | 182 | 164 |
| Lixeira2 | 285 | 14.4 | 5.0 | 12.3 | 0 | 158 | 15 | 0.1 | 0.04 | 0.5 | 214 | 7.2 | 1.2 | 111 | 276 | 327 | 289 | 108 |
| TP63* | 90 | 20.8 | 5.3 | 14.2 | 0 | 112 | 2 | 0 | 0.01 | 1.0 | 64 | 1.5 | 3.9 | 41 | 382 | 337 | 150 | 131 |
| Mandioca4 | 78 | 26.4 | 5.9 | 10.8 | 0.7 | 30 | 9 | 0.6 | 0.03 | 0.8 | 314 | 7.1 | 1 | 31 | 351 | 287 | 106 | 256 |
| TP25 | 36 | 13.7 | 5.7 | 9.0 | 0.2 | 54 | 5 | 0 | 0.01 | 0.5 | 32 | 1.2 | 0.7 | 12 | 443 | 246 | 96 | 215 |
| Área 96 | 36 | 10.0 | 5.3 | 6.5 | 0.7 | 10 | 1 | 0 | 0.01 | 0.5 | 91 | 1.6 | 0.4 | 12 | 503 | 251 | 82 | 164 |
| TP17 | 20 | 10.3 | 5.0 | 7.2 | 0.3 | 34 | 1 | 0 | 0.01 | 0.4 | 38 | 1.3 | 0.6 | 11 | 445 | 259 | 62 | 234 |
| TP48 | 16 | 10.8 | 5.6 | 7.0 | 0.4 | 22 | 4 | 0 | 0.01 | 0.5 | 49 | 1.3 | 0.5 | 10 | 378 | 313 | 99 | 210 |
| TP59 | 15 | 15.4 | 5.1 | 10.8 | 0.1 | 48 | 21 | 0.1 | 0.01 | 0.6 | 49 | 1.4 | 0.6 | 22 | 379 | 318 | 104 | 199 |
| Mandioca10 | 11 | 9.7 | 5.5 | 6.4 | 1.2 | 2 | 1 | 0.4 | 0.01 | 0.4 | 150 | 1.7 | 0.6 | 2 | 389 | 305 | 97 | 209 |
| Fogueira11 | 5 | 8.0 | 4.7 | 6.6 | 0.9 | 6 | 1 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 90 | 1.8 | 0.4 | 3 | 389 | 281 | 86 | 244 |
| Casa12 | 4 | 7.1 | 3.9 | 5.3 | 1.1 | 6 | 1 | 0.2 | 0.02 | 0.4 | 74 | 1.8 | 1.9 | 2 | 371 | 278 | 119 | 232 |
| Área 913 | 2 | 8.0 | 5.6 | 4.7 | 0.6 | 4 | 1 | 0 | 0.01 | 0.4 | 68 | 1.1 | 0.4 | 3 | 330 | 290 | 140 | 240 |
| Fora14 | 1 | 9.1 | 5.1 | 4.8 | 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.5 | 90 | 1.4 | 1.2 | 1 | 459 | 225 | 84 | 232 |

Áreas Domésticas: consistem nos espaços em frente e no interior das casas e nos quintais. São os locais onde acontecem atividades específicas que incluem as áreas de: preparação e consumo de comida; trabalho; dormir; circulação; processamento de mandioca, milho ou peixe; fogueiras para cozinhar e aquecer; além de áreas marginais (Fig. 5, 6, e 7). Esses espaços quase sempre são conservados limpos e varridos. As quatro casas amostradas (uma delas havia incendiado sete meses antes) foram escolhidas por serem as mais antigas da aldeia, tendo entre 7 e 10 anos de construídas. Viver durante algum período na aldeia permitiu observar diretamente as atividades de descarte que contribuem para a modificação do solo e formação da TPA. Essas análises permitirão obter detalhes da variação do solo em locais com usos diferenciados dentro do espaço doméstico.

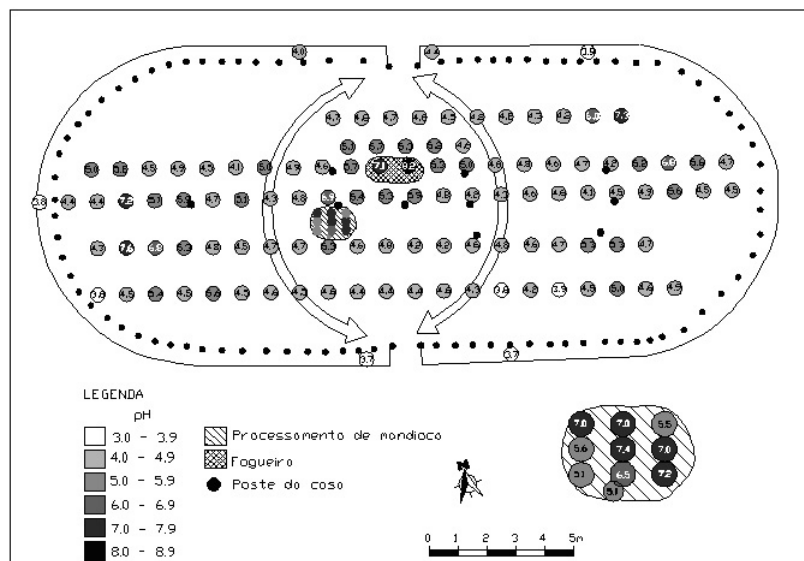


Fig. 5. Croqui indicando os valores de pH (em cima) dentro de uma casa no nível de 0-5 cm. As zonas de atividades da casa incluem a área de trabalho próxima à porta da frente (na parte inferior do desenho); as áreas de preparação e consumo de alimento na parte posterior da casa, as áreas de passagem (as setas) e as áreas de dormir localizadas nos lados direito e esquerdo. Áreas específicas incluem processamento de mandioca, a fogueira e a borda da casa.

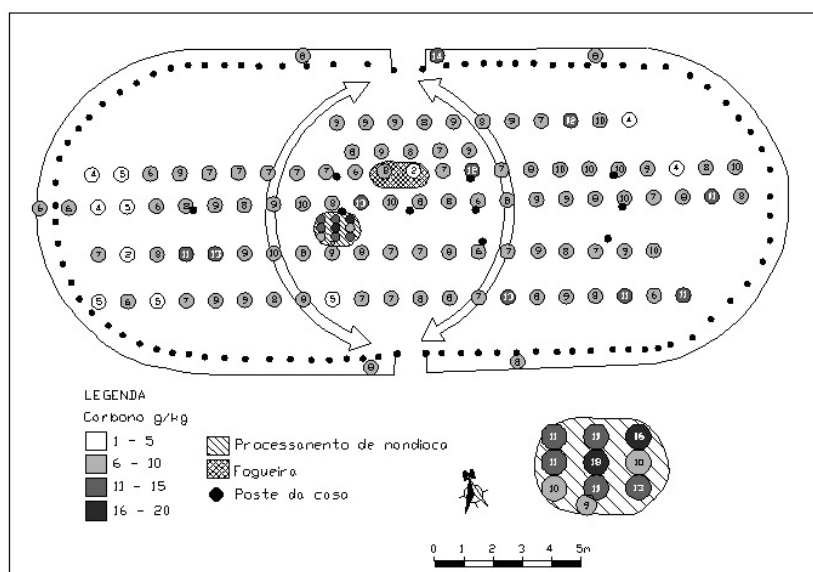


Fig. 6. Croqui indicando os teores de C orgânico (g/kg) dentro de uma casa no nível de 0-5 cm.



Fig. 7. Transects para coleta de amostras em uma casa na área de preparação e consumo de alimentos na aldeia Kuikuro.

Nos locais onde há a preparação e o consumo de comida, espera-se níveis mais altos de P, Ca, K, Fe, Mg, Na e outros elementos. Em um estudo sobre solos de acampamentos de pesca no Alasca, Knudson et al. (2004) encontraram níveis elevados de P, Ca, K, Mg, e Na nas áreas de processamento de peixes. Há uma expectativa por níveis elevados desses elementos nas áreas onde acontecem o consumo e processamento de peixe.

Duas amostras provenientes de áreas de processamento de mandioca (Tabela 2, nº 4 e 10) chamam atenção pelos níveis elevados de Fe. A presença de altos teores de outros elementos, exceto o Al na primeira área, pode ser parcialmente explicada pelo uso mais longo e intensivo e por sua localização em uma área antiga de descarte de lixo. Este local apresentou os valores mais altos de pH (5.9) e Fe (314 mg/dm^3) de todas as 14 amostras que constam na Tabela 2. Também foram registrados altos teores de K ($0,6 \text{ cmol/dm}^3$), N ($0,8 \text{ g/dm}^3$) e Zn ($7,1 \text{ mg/dm}^3$); teores relativamente altos de CTC ($10,8 \text{ cmol/dm}^3$), e teores moderados de Ca (30 cmol/dm^3), Mg (9 cmol/dm^3), Na ($0,03 \text{ cmol/dm}^3$), Cu ($1,0 \text{ mg/dm}^3$) e Mn (31 mg/dm^3). A segunda área, que foi usada por pouco tempo e não estava associada à lixeira antiga, mostrou níveis elevados de K ($0,4 \text{ cmol/dm}^3$) bem como, de Fe (150 mg/dm^3).

Partes das áreas de dormir deveriam apresentar níveis elevados de nutrientes similares aos das áreas de consumo de comida, embora não tão altos; uma vez que o consumo de comida nesta área seria menos freqüente. Nessas áreas, é esperada uma variação significativa dos padrões de deposição dos resíduos, em virtude do posicionamento das redes e outras atividades menos freqüentes; tais como o enterramento ocasional de resíduos orgânicos, onde, em caso de doenças, cava-se um buraco no chão para os dejetos corporais. Outras partes das áreas de dormir deveriam apresentar propriedades

consistentes de fogueiras apesar da prática de fazer fogo entre as redes nas noites de frio. Middleton and Price (1996) reportaram concentrações elevadas de P, K, e Mg em fogueiras. Uma amostra de fogueira de cozinha localizada dentro da uma casa (Tabela 2, nº 11) apresentou níveis relativamente baixos de P (5 mg/dm^3), Mg ($1 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$) e de outros elementos, porém, o de Na ($0.3 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$) foi o mais alto encontrado de todas as amostras e o nível de K ($0.7 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$) foi tão alto quanto o de uma das lixeiras.

Em virtude das adições de óleos vegetais e outros líquidos e resíduos orgânicos, são esperados elevados níveis de nutrientes nas áreas de trabalho. Já nas áreas de passagem e de pouco uso deverão ocorrer os menores teores de elementos dentro do contexto da casa. As áreas marginais - como a borda da casa e aquela próxima aos esteios centrais - podem apresentar níveis elevados de alguns elementos por causa da acumulação de resíduos orgânicos. A amostra 12 da Tabela 2 apresentou baixo pH (3.9), teores de K ($0.2 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$) e Zn (1.8 mg/dm^3) ligeiramente elevados e Cu (1.9 mg/dm^3) elevado. Isto pode estar associado ao costume masculino de micção na parede externa da frente da casa e/ou ao fato de que esta parede atualmente está sobreposta na parte em frente de uma antiga casa. As áreas em frente às casas (praça margem) são usadas para micção e ocasional trabalho e fogueiras. Nesses locais, são esperados altos teores de determinados elementos, especialmente o Cu que se pode acumular no solo através da urina (Bowen, 1966).

Praça: a área central da aldeia mantida limpa para festas, cerimônias e esportes. Três amostras de solo coletadas na praça de uma aldeia histórica e analisadas por Heckenberger (1996) indicaram teores mais baixos de MO (5.4, 5.4 e 5.7%), e os nutrientes disponíveis Mg (5.4, 0.3 e 0.1 mg/kg), Ca (14.9, 4.1 e 2.3 mg/kg), K (10.8, 2.1 e 1.2 mg/kg), Na (5.1, 4.1 e 3.5 mg/kg), P (76, 72 e 77 mg/kg), e pH (5.2, 4.6 e 4.1) (Tabela 1). Dos três locais, a primeira, que retornou os teores mais altos, foi coletada na beira da praça em frente das casas, e as outras duas são de espaço entre o centro da praça e as casas (praça média) (Fig. 3).

No centro da praça está a casa comunal dos homens e em frente fica a área onde acontecem as festas e cerimônias. Durante as festas e cerimônias grandes quantidades de comidas são servidas (principalmente peixe e beiju), fogueiras são ocasionalmente acesas e as pessoas costumam urinar no entorno dessa área. Nesta pesquisa foram realizados três transects em frente a atual casa dos homens, que continua no mesmo local da antiga, e que também é a área de alguns enterramentos. Coletaram-se, ainda, amostras dentro da casa dos homens. Nessas áreas, localizadas no centro da praça, espera-se encontrar teores elevados de elementos químicos da mesma forma que nas áreas de consumo de alimentos dentro das casas.

O espaço entre o centro da praça e as casas (praça média) é utilizado com menor frequência, sendo o esporte uma das principais atividades praticadas nessa área. Por isso espera-se encontrar nesse espaço os mais baixos níveis de nutrientes de todas as áreas de atividades da aldeia, assemelhando-se às áreas fora dos sítios. Atividades incluindo a limpeza, enterramentos, queima de capim, fogueiras, e micção, com o tempo, vão modificando o solo em toda a praça, aumentando pH, C orgânico e outros nutrientes.

Mudanças Após o Abandono da Aldeia

A comparação dos resultados de duas amostras provenientes de lixeiras (Tabela 2, nº 1 e 2) de diferentes idades (aproximadamente de 5 a 15 e de 75 a 85 anos respectivamente) mostrou que ambas possuíam o mesmo nível de enriquecimento com P trocável (a lixeira mais nova apresentou o nível ligeiramente mais elevado com 292 mg/dm^3 e a mais antiga 285. Na lixeira mais nova foram significativamente mais altos os teores de C (56.4 g/dm^3 versus 14.4), Ca ($236.5 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$ versus 158.3), Mg ($21.9 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$ versus 14.6), K ($0.66 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$ versus 0.11), Na ($0.07 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$ versus 0.04), N (1.32 g/dm^3 versus 0.5), Cu (2.1 mg/dm^3 e 1.2), e Mn (207 mg/dm^3 versus 111); e a CTC foi aproximadamente o dobro ($25.3 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$ versus 12.3). A lixeira mais velha apresentou um pH mais alto (5.0 versus 4.5) e maiores teores de Fe (214 mg/dm^3 versus 173) e Zn (7.2 mg/dm^3 versus 3.1).

Nenhuma das duas amostras analisadas apresentou Al acima do nível de detecção. Suas texturas eram ligeiramente diferentes, a da lixeira mais nova apresentou conteúdos mais altos de areia grossa (356 versus 276) e argila (164 versus 108) e mais baixos de areia fina (298 versus 327) e silte (182 versus 289).

Esses resultados sugerem que o conteúdo de P permaneceu relativamente estável, enquanto outros elementos diminuíram ao longo do tempo por causa da lixiviação e retirada de nutrientes pelas plantas. As análises das amostras adicionais provenientes das áreas domésticas, praças e lixeiras de idades variadas, com profundidade de até dois metros, auxiliarão na definição mais precisa da mudança desses solos durante o tempo. Um resultado importante dessas análises será observar de que forma ocorre a translocação dos elementos químicos no perfil do solo, desde a sua deposição inicial.

Os Sítios Pré-Históricos

O projeto Southern Amazon Ethnoarchaeology realizou um levantamento usando GPS de alta resolução (Trimble XRS; Omnistar satélite SA serviço de tempo real) para refinar os mapas dos assentamentos e o regional. Esse novo método facilitou o mapeamento geral dos assentamentos (alguns chegando até 50 ha) e da paisagem. As feições dentro dos sítios que foram mapeados incluíram as bordas das praças, das estradas e as valetas resultando em desenhos básicos das formas dos sítios (Fig. 2). Fora dos sítios foram mapeadas estradas que ligam os sítios um ao outro.

Os estudos etno-arqueológicos na área do Alto Xingu têm mostrado que existe uma continuidade nas atividades econômicas básicas e na organização espacial das aldeias desde a pré-história até o presente embora existam diferenças em termos de escala. A área doméstica, por exemplo, no Sítio Arqueológico Nokugu é aproximadamente 10 vezes maior que a da aldeia atual. Onde há apenas uma aldeia hoje, existiam várias aldeias na pré-história, todas interligadas com um sistema de estradas amplas e bem conservadas.

Duas amostras foram analisadas por Heckenberger (1996), uma da praça e a outra da área doméstica do Sítio Nokugu (MT-FX-06) (Fig. 8). A área doméstica apresenta níveis mais altos de Ca (144 vs 53 mg/kg), Mg (19 vs 9 mg/kg), P (556 vs 299 mg/kg), pH (6.4 vs 5.6) e MO (7.5% vs 5.8%) (Tabela 1). Os teores de K (3.8 vs 4.1 mg/kg) e Na (5.8 vs 6.8 mg/kg) são similares. Os níveis relativamente altos de alguns elementos obtidos na praça de Nokugu comparados com os da aldeia atual (por exemplo, níveis de P de 72 a 77 mg/kg na aldeia Kuikuro I e 299 mg/kg em Nokugu) possivelmente refletem a longa duração e uso mais intensivo do espaço ou o possível uso anterior do local como espaço doméstico ou lixeira.

Os resultados obtidos com as amostras de cinco sondagens e de três tradagens em um transect realizado em Nokugu, sugerem que existe uma variação significativa na composição dos solos ao longo do sítio. A sondagem 6, (Tabela 2, N° 3) apresentou o terceiro mais alto teor de P (90 mg/dm³) de todas as amostras, abaixo somente de duas lixeiras atuais, e níveis relativamente altos de CTC (14.2 cmol_e/dm³), N (1.0 g/dm³), Ca (112 cmol_e/dm³), Cu (3.9 mg/dm³), e Mn (41 mg/dm³). Somente nestas lixeiras e na sondagem 6 foram encontrados teores de Al abaixo do limites detectáveis. Eram esperados, na sondagem 6, altos níveis de nutrientes e baixo teor de Al em virtude da sua localização na margem da praça. Essa margem é formada em grande parte por lixo orgânico e cacos de cerâmica amontoados, podendo alcançar aproximadamente de 1 a 2 metros de altura, ou seja, cerca de 1 a 2 metros de profundidade de TPA.

Com base no resultado dessas três amostras (Tabela 2, N° 1, 2, e 3), que apresentaram teores de Al próximo a zero, espera-se ser possível indicar locais de lixo orgânico acumulado na superfície. Os resultados preliminares sugerem que os baixos teores de Al encontrados na área doméstica de Nokugu

⁵Este transect com extensão de aproximadamente 450 m, começou na borda elevada em torno da praça e terminou após a valeta externa na periferia do sítio (Fig. 2).

(0 a $0.4 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$), em comparação com a periferia do sítio (0.6 a $0.9 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$) e a aldeia atual (0.7 a $1.2 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$), provavelmente revelam a influência do descarte de lixo orgânico e outras atividades por um período mais longo e intensivo, o que teria introduzido cinza, carvão e outras matérias orgânicas em uma área extensa.

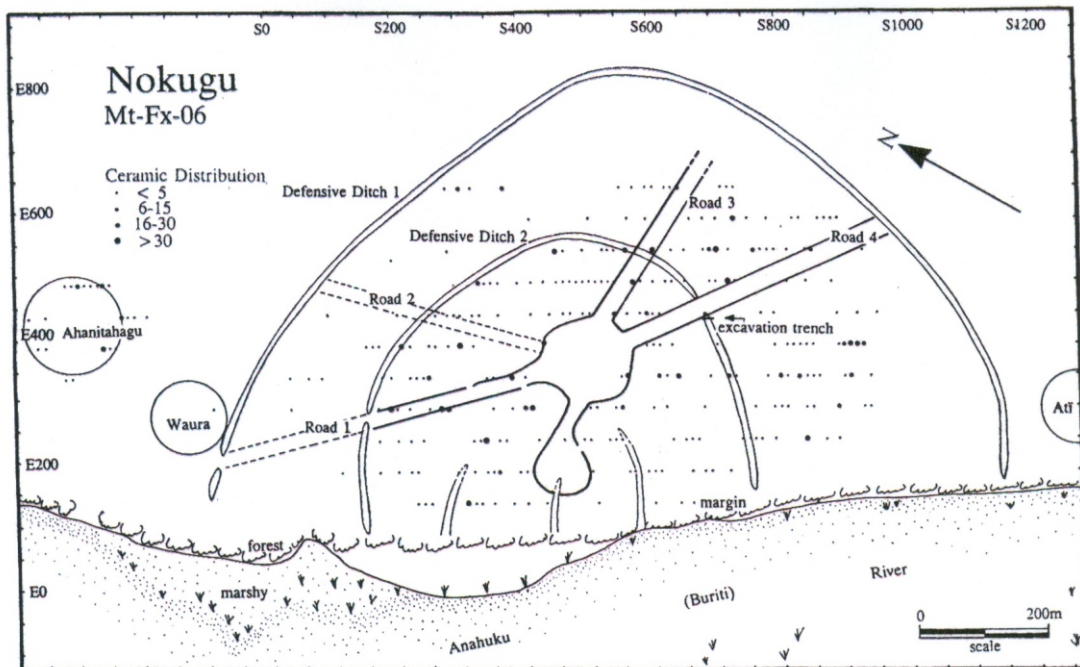


Fig. 8. Sítio pré-histórico Nokugu (MT-FX-6) mostrando as principais estruturas de terra (trincheiras concêntricas e praças circulares com estradas retas) e a distribuição dos fragmentos de cerâmica coletados na superfície em unidades de $2 \times 2 \text{ m}$ (Heckenberger 1996).

Com base no resultado dessas três amostras (Tabela 2, N° 1, 2, e 3), que apresentaram teores de Al próximo a zero, espera-se ser possível indicar locais de lixo orgânico acumulado na superfície. Os resultados preliminares sugerem que os baixos teores de Al encontrados na área doméstica de Nokugu (0 a $0.4 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$), em comparação com a periferia do sítio (0.6 a $0.9 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$) e a aldeia atual (0.7 a $1.2 \text{ cmol}_0/\text{dm}^3$), provavelmente revelam a influência do descarte de lixo orgânico e outras atividades por um período mais longo e intensivo, o que teria introduzido cinza, carvão e outras matérias orgânicas em uma área extensa.

As amostras da sondagem 2 (Tabela 2, N° 5, localizada a 82 metros da borda da praça) e da área 9 (N° 6, aproximadamente a 160 metros da praça) apresentam um teor de P mais alto que o da sondagem 4 (N° 8, a 42 metros da praça) e da sondagem 5 (N° 9, a 22 metros da praça) (36 e 36 vs 15 e $16 \text{ mg}/\text{dm}^3$). A variação dos outros nutrientes também é evidentemente não relacionada com a distância da praça numa forma regular. Essa variação está relacionada com uso diferenciado do espaço dentro do sítio. Amostras de aproximadamente 130 locais ao longo de 11 transects (com 10 ou 20 m de intervalo e profundidades de até 2 m) em três sítios pré-históricos ajudarão a caracterizar melhor a variação do solo ao longo dos sítios e permitirão comparações das propriedades do solo entre as áreas de atividades e a distribuição de artefatos em uma ampla escala.

Em uma escavação extensiva (136 m^2) realizada no sítio Nokugu, tomando como base a distribuição de feições arqueológicas e sua orientação em relação à praça, a estrada e as lixeiras, identificou-se um provável piso de casa. Foram coletadas amostras de solos em cada unidade de 1 m^2

durante a escavação e também das feições arqueológicas encontradas. Foram implantados quatro transects saindo da escavação e cruzando o que provavelmente teriam sido áreas em frente à casa, do quintal e das lixeiras (Fig. 9). Identificaram-se feições com solos escuros apresentando quantidade de carvão que foram interpretadas como fogueira e prováveis marcas de esteio. Na análise das amostras coletadas nessas feições espera-se encontrar um padrão distinto de teores de elementos do solo. Espera-se que a variação nas propriedades do solo ao longo dos transects cruzando as áreas da casa, do quintal e das lixeiras reflitam o uso diferenciado do espaço e apresentem teores de nutrientes relativos comparáveis às assinaturas de solo definidas para as áreas de atividades nas aldeias históricas e na atual.



Fig. 9. Transect partindo da escavação extensiva no Sítio pré-histórico Nokugu.

As Áreas Externas dos Sítios

As áreas externas dos sítios incluem a floresta, roças de mandioca e roças em vários estágios de abandono (campo aberto de sapê, arbustos e capoeira)⁶. Esses locais foram amostrados para aquisição de uma medida base de propriedades de solo. Eles representam áreas de baixo impacto humano comparados aos sítios-habitação, por isso, os resultados dessas amostras servirão como níveis estruturais de teores de elementos com os quais as outras amostras serão comparadas. Os locais amostrados foram escolhidos em áreas distantes dos sítios pré-históricos na tentativa de minimizar a influência das atividades humanas no solo. Esses locais não são considerados “solos naturais”, pois é provável que quase toda área de floresta de terra firme na região estudada tenha sido cultivada em algum momento e/ou foi afetada pelas queimadas provocadas por atividades humanas, considerando a alta densidade de assentamentos na pré-história (Heckenberger et al. 2003). Em resumo, neste estudo, consideramos que não existem amostras de solo “virgem”, apenas de solos que apresentam graus diferenciados de impacto humano.

⁶Esses lugares são queimados todos os anos e o fogo algumas vezes invade a floresta.

Carneiro (1983) analisou quatro amostras de solos coletados em roças e florestas da mesma área, que apresentaram teores relativamente baixos de nutrientes, inclusive em roças recém-desmatadas e queimadas. A amostra coletada fora do Sítio Nokugu (Nº 14, Tabela 2) apresentou teores de P, Ca, Mg e Mn próximo a zero, o mais baixo de todas as áreas. Os solos dessa área mostram características semelhantes aos Oxisolos (Latosolos) encontrados na região do Rio Suia-Missu, que fica próxima ao Alto Xingu (Ratter et al. 1978). Espera-se que as amostras das áreas externas dos sítios apresentem teores de nutrientes mais baixos comparados ao do centro da praça, das áreas domésticas e das lixeiras e mais comparável com as amostras retiradas entre o centro da praça e as casas (praça média) nas aldeias históricas e na atual. As áreas de banheiro (dejetos fecais), que ficam localizadas fora da aldeia em áreas de arbustos, também podem apresentar níveis elevados de certos elementos como Zn (Bowen 1966). Essas mesmas áreas podem ter modificações através de cultivo em roças próximas da aldeia e podem apresentar teores elevados de Carbono orgânico e pH.

Métodos

Coletas de Campo

Na aldeia atual, nas duas aldeias históricas e nas áreas externas aos sítios, foram coletadas, no total, 2487 amostras de 743 locais de amostra (la), incluindo 94 la nas aldeias históricas utilizando um trado de copo 8 cm. Dentre essas amostras, 2027 foram coletadas em intervalos de 1 m de 669 la, ao longo de 50 transects variando de 3 a 52 metros de extensão. Além dessas, foram realizadas 496 amostras de 78 la fora dos transects em áreas de atividades especiais (como por exemplo, área de processamento de mandioca e milho, fogueiras etc.). As áreas externas aos sítios incluem a floresta (26 la), roças de mandioca (12 la) e floresta secundária e/ou campo com capim e arbustos⁷ (49 la).

A quantidade de locais de amostras coletadas na aldeia atual em zonas de atividades conhecidas no contexto etnoarqueológico são: (a) praça centro, a área da casa dos homens e cemitérios (54 locais de amostra (la)); (b) praça média, a área entre o centro da praça e as casas (45 la); (c) praça margem, o espaço entre 0 e 20m em frente às casas (38 la); (d) o piso dentro da casa (295 la); (e) as áreas de atividades no quintal (60 la); (f) as áreas de descarte de lixo (lixeiras) (49 la); e (g) a área de banheiro atrás das casas (59 la).

Cada local de amostra tem no mínimo duas amostras de 0-5 cm e 5-10 cm de profundidade com as mais profundas retiradas em intervalos de 10 cm (10-20 cm, 20-30 cm etc.) perfazendo um total de 21 amostras para um local de amostra de 2 m de profundidade. Metade dos 743 locais de amostra atingiu no mínimo 20 cm de profundidade; ¼ chegou até 30 cm; 68 alcançaram 50 cm; e 40 chegaram entre 1 e 2 m. As lixeiras foram sempre amostradas em uma profundidade mínima de 60 cm devido ao intenso impacto antrópico, óbvio pela cor escura até uma profundidade de cerca de 40 cm.

As amostras foram coletadas durante as escavações arqueológicas, cobrindo diferentes áreas de atividades em três dos maiores sítios pré-históricos. Foram retiradas em níveis de 5 cm do quadrante SE de cada unidade de 1x1 m durante escavações extensivas em uma área de 136 m² interpretada como um piso de casa. Uma amostra foi coletada de cada feição (fogueiras e marcas de esteio) em cada nível de 5 cm em todos os quadrantes. Mais amostras foram coletadas com trado de 8 cm em intervalos de 1 m ao longo de transects saindo da escavação e atravessando áreas interpretadas como frente da casa, quintal e lixeiras. Colunas de amostras foram coletadas em outras unidades de escavação. Foram realizadas coletas de solo nas sondagens de 50x50 cm em intervalos de 20 m ao longo de transects atravessando os sítios. Amostras das escavações foram coletadas usando colher de pedreiro, da superfície até a base dos sedimentos culturais. Foram coletadas amostras mais profundas dentro das escavações com trado de 8 cm.

⁷Roças abandonadas em vários estágios.

Os membros da comunidade Kuikuro participaram do trabalho de campo facilitando a coleta de amostras. No total sete meses de campo, distribuídos em quatro etapas anuais. Vários membros da comunidade foram treinados em todos os aspectos de coleta de solos, escavação, coloração, descrição, fotografia digital e mapeamento com GPS. Este utilizado na localização dos pontos de amostra.

Análises de laboratório

A preparação, tratamento e análise das amostras de solo estão sendo realizadas na Coordenação de Ciências da Terra do Museu Goeldi (MPEG) em Belém. As amostras são secas ao natural e preparadas para análise pelo peneiramento em malha de 2 mm. Os materiais maiores que 2 mm, tais como carvão, cerâmica ou líticos são registrados e guardados separadamente.

Os procedimentos de laboratório seguirão os métodos da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) (1997) rotineiramente usados no laboratório de solos do MPEG. Eles incluem determinação de Al, Ca, Mg disponíveis por KCl 1M; teores de P, K, Na, Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis por Mehlich-1; pH em água a 1:2.5; e C orgânico por Walkley-Black modificado. Os elementos principais e os traços são determinados por inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICPOES)(Varian) na Universidade Estadual do Pará.

Resultados Preliminares

Os resultados preliminares sugerem que todas as propriedades do solo analisadas nessa pesquisa são indicadores sensíveis das modificações antrópicas. As áreas de atividades nas aldeias históricas e atual mostram diferenças marcantes nos níveis de pH, carbono orgânico e nutrientes testados. Os resultados alcançados mostraram-se concernentes com algumas das expectativas iniciais detalhadas nas seções anteriores, e para outras expectativas a serem estabelecidas ainda precisam ser realizadas mais análises. Apresentam-se aqui os resultados das análises de pH e carbono orgânico em nove áreas de atividades na aldeia atual, aldeia histórica e redondezas, bem como em três colunas de solo coletadas no sítio pré-histórico Nokugu. Os resultados dos nutrientes disponíveis testados são apresentados para área de floresta, lixeiras e áreas de processamento de mandioca.

Os dados apresentados nas tabelas 3 e 4 mostram a grande variação dos valores médios de pH e C orgânico entre as áreas de atividades. No nível de 0-5 cm, a média do pH é mais baixa na área de floresta (4.0) e mais alta nas lixeiras atuais (6.7). A média do C orgânico, no mesmo nível, apresenta-se mais baixa na praça média (8.5 g/kg) e mais alta na área da floresta (35.0 g/kg). Essas diferenças marcantes de cada propriedade vão ser utilizadas na continuação da pesquisa na tentativa de separar as áreas de atividades, ou seja, criar assinaturas com aplicações de estatística multivariável.

O coeficiente de variação (CV) serve como uma medida de dispersão dos resultados com um valor mínimo de zero. O CV é útil para comparar grupos de dados com médias diferentes. Um pequeno número de amostras apresentaria um valor elevado, então esta medida deve ser usada com cuidado. Os resultados sugerem que certas propriedades apresentam teores mais variáveis em certas áreas de atividade. Um exemplo disso é: como já era esperado, existem mais variações nos teores de pH nas áreas domésticas nas casas (CV=0.17, n=237) no nível 0 a 5 cm do que as das lixeiras (CV=0.09, n=13) e as da floresta (CV=0.06, n=26). O carbono orgânico também reflete isso. A variação nos teores de C orgânico das casas (CV=0.37, n=237) no nível 0 a 5 cm é mais alta que a das lixeiras (CV=0.3, n=17) e da floresta (CV=0.3, n=26).

Tabela 3. Médias de pH em diversas áreas de atividades nas aldeias atual e históricas e áreas externas.

| Área | 0-5 cm | | | | | 5-10 cm | | | |
|-------------------|--------|-------|-----|-----|------|---------|-----|-----|------|
| | n | Média | min | max | CV | média | min | max | CV |
| Floresta | 26 | 4.0 | 3.6 | 4.9 | 0.06 | 4.0 | 3.7 | 4.3 | 0.05 |
| Campo | 11 | 5.2 | 4.9 | 5.6 | 0.04 | 5.0 | 4.8 | 5.5 | 0.04 |
| Lixeira | 17 | 6.8 | 5.8 | 8.2 | 0.09 | 6.7 | 5.8 | 7.8 | 0.08 |
| Lixeira histórica | 30 | 5.8 | 5.1 | 6.4 | 0.06 | 6.0 | 5.2 | 6.4 | 0.04 |
| Mandioca | 31 | 6.0 | 5.9 | 7.4 | 0.13 | 4.9 | 4.2 | 6.4 | 0.39 |
| Casa | 237 | 5.7 | 3.8 | 8.6 | 0.17 | 5.0 | 3.8 | 8.3 | 0.20 |
| Praça margem | 22 | 5.1 | 3.7 | 6.6 | 0.13 | 4.3 | 3.9 | 5.0 | 0.07 |
| Praça média | 33 | 4.6 | 4.3 | 5.1 | 0.04 | 4.4 | 4.1 | 4.8 | 0.03 |
| Praça centro | 49 | 4.9 | 4.0 | 6.9 | 0.10 | 4.6 | 3.9 | 6.1 | 0.10 |
| Banheiro | 37 | 4.8 | 4.2 | 5.3 | 0.04 | 4.9 | 4.7 | 5.2 | 0.02 |

Tabela 4. Médias de C orgânico (g/kg) em diversas áreas de atividade nas aldeias atual e históricas e áreas externas.

| Área | 0-5 cm | | | | | 5-10 cm | | | |
|-------------------|--------|-------|------|------|------|---------|------|------|------|
| | n | Média | min | max | CV | média | min | max | CV |
| Floresta | 26 | 35.0 | 18.4 | 57.4 | 0.30 | 23.7 | 13.8 | 37.2 | 0.27 |
| Campo | 11 | 16.0 | 10.7 | 22.9 | 0.24 | 12.1 | 10.3 | 4.2 | 0.10 |
| Lixeira | 17 | 31.0 | 16.5 | 48.8 | 0.30 | 22.0 | 8.8 | 41.4 | 0.37 |
| Lixeira histórica | 30 | 26.6 | 11.0 | 42.7 | 0.25 | 25.6 | 12.2 | 41.3 | 0.34 |
| Mandioca | 31 | 12.0 | 4.1 | 19.4 | 0.35 | 9.8 | 4.7 | 19.4 | 0.39 |
| Casa | 237 | 10.6 | 1.6 | 25.5 | 0.37 | 9.3 | 2.4 | 21.0 | 0.36 |
| Praça margem | 22 | 10.2 | 5.3 | 20.1 | 0.32 | 9.3 | 5.7 | 15.2 | 0.21 |
| Praça média | 33 | 8.5 | 4.0 | 18.1 | 0.32 | 8.6 | 4.4 | 12.9 | 0.22 |
| Praça centro | 49 | 9.4 | 3.6 | 16.6 | 0.30 | 9.3 | 4.2 | 15.8 | 0.31 |
| Banheiro | 37 | 22.1 | 12.7 | 39.6 | 0.29 | 19.1 | 12.0 | 40.0 | 0.29 |

Níveis estruturais do solo

Os níveis estruturais do solo foram estabelecidos por amostragem numa área de floresta distante dos sítios arqueológicos e da aldeia atual. Médias (Tabela 5) são baseadas em 26 amostras de cada nível de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e coletadas em três transects. Um menor número de amostras foi analisada em níveis mais fundos.

Tabela 5. Médias de uma área de floresta. Profundidade em cm abaixo da superfície. C em g/kg, Na e K em cmol/dm³, e os outros em mg/kg.

| Prof. | n | pH | C | n | P | Na | K | Al | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--------|----|-----|------|----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|
| 0-5 | 26 | 4.0 | 35.0 | 12 | 8.9 | 3.2 | 17.9 | 58.2 | 8.9 | 3.6 | 0.3 | 1020 | 12.5 | 2.2 |
| 5-10 | 26 | 4.0 | 23.7 | 12 | 5.8 | 2.4 | 8.6 | 35.0 | 2.0 | 1.8 | 0.2 | 1129 | 9.3 | 1.7 |
| 10-20 | 26 | 4.2 | 14.4 | 12 | 4.3 | 1.2 | 3.4 | 22.8 | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 1022 | 4.2 | 1.1 |
| 20-30 | 8 | 4.4 | 11.0 | 4 | 2.8 | 0.1 | 4.1 | 45.7 | 2.6 | 1.1 | 0.4 | 1165 | 5.7 | 1.3 |
| 30-40 | 8 | 4.5 | 8.8 | 4 | 3.2 | 1.6 | 2.8 | 13.2 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 971 | 5.3 | 1.1 |
| 40-50 | 8 | 4.5 | 7.8 | 4 | 1.2 | 1.0 | 1.2 | 28.9 | 0.6 | 0.8 | 0.3 | 726 | 4.5 | 1.1 |
| 50-60 | 5 | 4.6 | 7.3 | 2 | 0.8 | 0.0 | 1.3 | 29.8 | 0.6 | 0.7 | 0.3 | 664 | 4.1 | 0.9 |
| 60-70 | 4 | 4.6 | 5.6 | 2 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 28.2 | 0.7 | 0.5 | 0.1 | 480 | 2.9 | 0.7 |
| 70-80 | 4 | 4.6 | 4.4 | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 25.4 | 0.6 | 0.3 | 0.2 | 377 | 2.7 | 0.8 |
| 80-90 | 4 | 4.6 | 4.0 | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 26.7 | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 373 | 2.7 | 0.7 |
| 90-100 | 4 | 4.7 | 3.1 | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.3 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 305 | 2.3 | 0.7 |

Os resultados mostram que o pH é um indicador sensível de mudanças provocadas no solo pelo impacto humano. O pH das amostras da floresta varia entre um mínimo de 3.6 e um máximo de 5.0 num perfil de 2 m. A média do pH é 4.0 nos primeiros 10 cm; aumenta para 4.4 no 20-30 cm; e aumenta gradualmente a 4.7 na profundidade de 1 m (Fig. 10). Abaixo de 1 m até 2 m a média do pH varia entre 4.6 a 4.8.

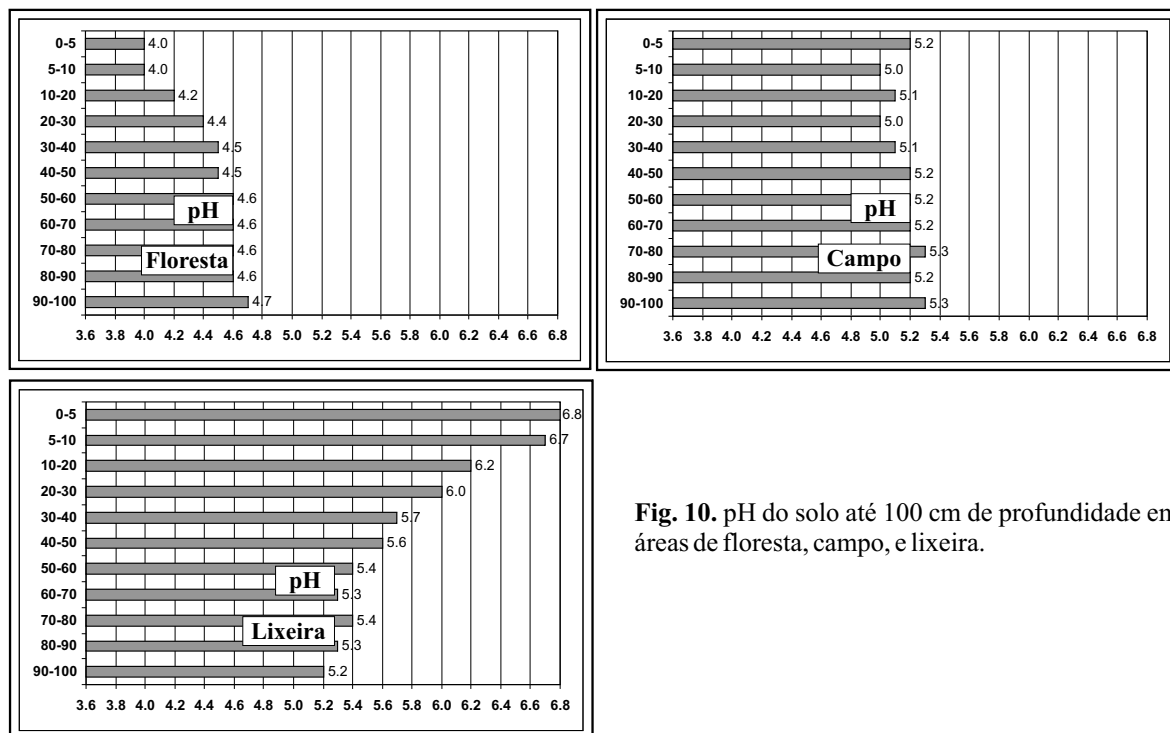


Fig. 10. pH do solo até 100 cm de profundidade em áreas de floresta, campo, e lixeira.

Na floresta, o carbono orgânico é alto (35.0 g/kg no 0-5 cm e 23.7 g/kg no 5-10 cm) nos primeiros 10 cm por causa da matéria orgânica acumulada na superfície. De 14.4 g/kg no nível 10-20 cm, o teor de C diminui gradualmente a 3.1 g/kg em 1 m de profundidade e abaixo de 1 m até 2 m varia entre 1.8 e 2.6 g/kg (Fig. 11).

Em geral, os nutrientes disponíveis do solo da floresta apresentam níveis relativamente baixos em comparação a outras áreas de atividade. Os elementos testados geralmente diminuem com a profundidade. Fósforo, 8.9 mg/kg na superfície, diminui gradualmente chegando ao limite de detecção em torno de 60 cm. Do mesmo modo, sódio começa com 3.2 mg/kg na superfície e aproxima a zero em torno de 50 cm e potássio, 17.9 mg/kg no nível 0-5 cm chegando a zero com 80 cm. Outros nutrientes também diminuem da superfície (Ca=8.9, Mg=3.6, Cu=0.3, Mn=12.5, e Zn=2.2 mg/kg) a 1 m de profundidade (Ca=0.2, Mg=0.4, Cu=0.0, Mn=2.3, e Zn=0.7 mg/kg).

As exceções são ferro e alumínio. Ferro apresenta altos teores, especialmente nos níveis superiores; seu teor médio é acima de 1000 mg/kg até o nível 20-30 cm e diminui para 305 mg/kg em 1 m de profundidade. Alumínio, com a média mínima de 11.3 mg/kg no 90-100 cm e máxima de 58.2 mg/kg no 0-5 cm, varia bastante. Nas amostras do nível de 0-5 cm, por exemplo, retornaram um mínimo de 12.2 mg/kg e um máximo de 154.3 mg/kg.

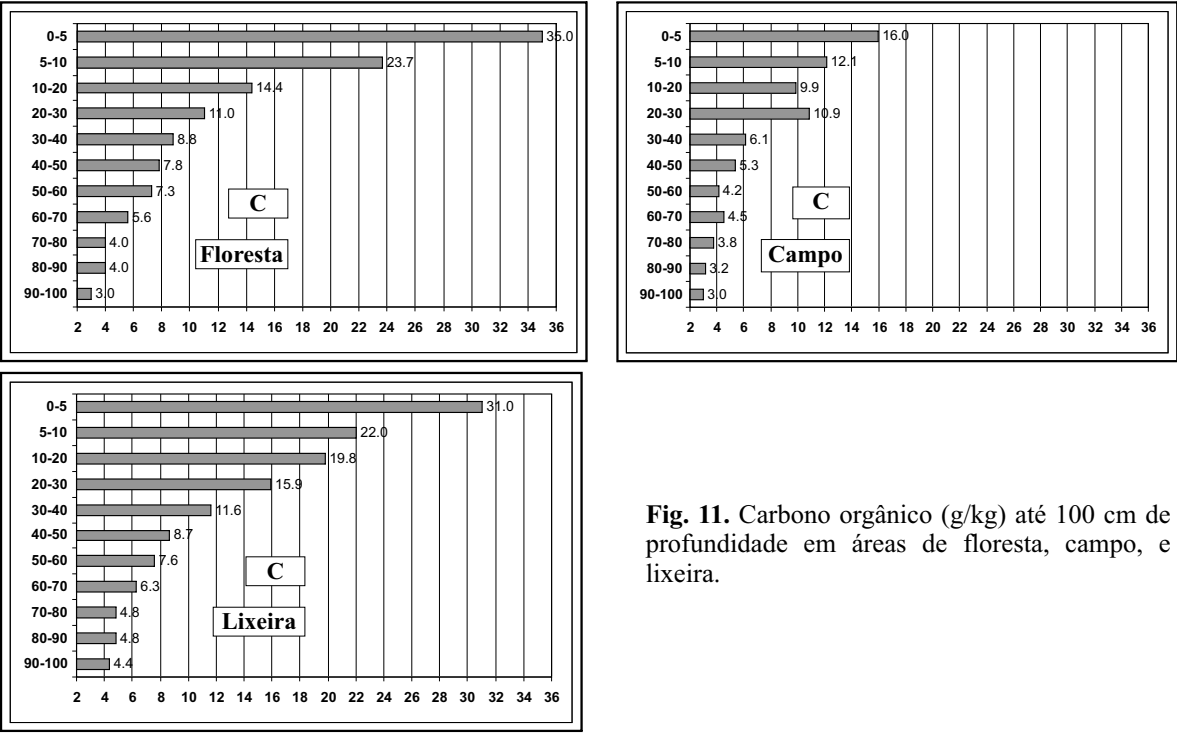


Fig. 11. Carbono orgânico (g/kg) até 100 cm de profundidade em áreas de floresta, campo, e lixeira.

As lixeiras

Os dados apresentados aqui vêm de 17 locais de amostra em 5 lixeiras diferentes na aldeia atual. Quatro delas são lixeiras bem desenvolvidas com até 25 anos de idade. Uma delas é mais recente com alguns anos de idade, ou seja, no início do seu desenvolvimento. Além disso, há resultados de pH e C de duas aldeias históricas que mostram as diferenças entre elas e a aldeia atual. Como esperado, as lixeiras mostram níveis consistentemente altos para a maioria das propriedades químicas analisadas.

Enquanto o pH do solo da floresta começa baixo e aumenta com a profundidade, o da lixeira começa alto e diminui com a profundidade (Fig. 10 e Tabela 6). Nos primeiros 10 cm das lixeiras, a média do pH aproxima-se de neutro (6.8 no 0-5 cm e 6.7 no 5-10 cm) e permanece acima de 6.0 até cerca de 30 cm. De 30 cm, ele diminui gradualmente até 5.2 com 1m de profundidade. É menos ácido do que a floresta no mesmo nível (4.5) indicando que a lixeira tem influência no pH que estende até pelo menos 1m de profundidade. Entre 1 e 2 m, o solo embaixo da lixeira é, de fato, mais ácido (4.7 no 100-110 cm, 4.6 no 110-120 cm e 4.5 abaixo de 120 cm até 2 m) que o da floresta, mas esta observação é baseada em apenas três amostras. Há possibilidade de que esta diferença seja variação natural, não podendo, portanto, ser descartada ainda.

Tabela 6. Médias de áreas de lixeira na Aldeia Kuikuro. Profundidade em cm abaixo da superfície. Nutrientes C em g/kg, Na e K em cmolc/dm³, e os outros em mg/kg.

| Prof. | n | pH | C | n | P | Na | K | Al | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--------|----|-----|------|---|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| 0-5 | 17 | 6.8 | 31.0 | 7 | 1390 | 161 | 624 | 1.3 | 1038 | 3.9 | 0.2 | 276 | 161 | 91.8 |
| 5-10 | 17 | 6.7 | 22.0 | 7 | 1737 | 128 | 494 | 2.7 | 1036 | 3.8 | 0.3 | 315 | 109 | 16.5 |
| 10-20 | 13 | 6.2 | 19.8 | 7 | 1524 | 80 | 388 | 4.1 | 749 | 4.4 | 0.8 | 352 | 110 | 11.7 |
| 20-30 | 13 | 6.0 | 15.9 | 7 | 933 | 135 | 396 | 3.1 | 1201 | 6.1 | 0.9 | 578 | 105 | 20.3 |
| 30-40 | 13 | 5.7 | 11.6 | 7 | 312 | 54 | 191 | 3.4 | 604 | 5.1 | 0.6 | 349 | 64 | 11.4 |
| 40-50 | 13 | 5.6 | 8.7 | 7 | 121 | 45 | 136 | 3.2 | 382 | 1.7 | 0.4 | 445 | 56 | 4.5 |
| 50-60 | 13 | 5.4 | 7.6 | 7 | 56 | 39 | 100 | 2.8 | 211 | 1.4 | 0.5 | 243 | 83 | 12.5 |
| 60-70 | 10 | 5.3 | 6.3 | 4 | 82 | 66 | 147 | 9.7 | 242 | 1.7 | 0.2 | 298 | 55 | 7.0 |
| 70-80 | 9 | 5.4 | 4.8 | 3 | 21 | 55 | 86 | 3.4 | 182 | 1.5 | 0.1 | 175 | 113 | 12.6 |
| 80-90 | 9 | 5.3 | 4.8 | 3 | 55 | 58 | 118 | 3.6 | 153 | 1.1 | 0.2 | 356 | 8 | 1.0 |
| 90-100 | 9 | 5.2 | 4.4 | 3 | 23 | 57 | 115 | 1.1 | 215 | 1.4 | 0.1 | 249 | 5 | 0.4 |

Os teores de C orgânico nos primeiros 10 cm das lixeiras apresentam-se parecidos (31.0 g/kg no 0-5 cm e 22.0 g/kg no 5-10 cm) com os do solo da floresta. Abaixo disso, os teores se mantêm ligeiramente mais altos que os da floresta até 1 m (Fig. 11). Diminuem gradualmente de 19.8 g/kg no nível 10-20 cm a 6.3 g/kg no 60-70 cm e 4.4 g/kg no 90-100 cm. Entre 1 e 2 m de profundidade os teores de C variam entre 1.2 e 3.6 g/kg., ou seja, parecido com o solo da floresta.

Amostras de apenas sete locais nas lixeiras foram analisadas para todos os nutrientes disponíveis considerados nesse trabalho. É possível observar, como previsto inicialmente, grande variação horizontal nos resultados obtidos entre as lixeiras e dentro de cada lixeira, provavelmente refletindo a deposição variável e a mistura incompleta de diferentes tipos de restos orgânicos.

Os dados obtidos, até o momento, sugerem uma tendência geral de diminuição dos teores de nutrientes na medida em que a profundidade aumenta. Existe, freqüentemente, uma queda abrupta dos teores de nutrientes na profundidade de 30 ou 40 cm. Lembramos ainda que as lixeiras são formadas de matéria orgânica amontoada a uma altura de aproximadamente 30 ou 40 cm com grande variação espacial. Esta queda pode ser vista na maioria dos nutrientes especialmente P, Na, K, Ca, Mg, Mn, e Zn. Por exemplo, a média de P cai de 1524 mg/kg no nível 10-20 cm para 933 mg/kg no 20-30 cm, 312 mg/kg no 30-40 cm e 121 mg/kg no 40-50 cm. Esta queda abrupta é ainda mascarada quando se observam as médias em virtude da variação espacial. Se olharmos os perfis individualmente, a queda é ainda mais marcante. Um exemplo é uma das lixeiras “bem desenvolvidas” em que o teor de P diminui de 1434 mg/kg no nível 20-30 cm para 37 mg/kg no 30-40 cm.

Outrossim podemos observar uma possível mudança abrupta de ferro nos níveis de 20-30 cm ou 30-40 cm. Em alguns casos, os teores de ferro tornam-se mais altos nesses níveis. Usando o mesmo exemplo anterior da lixeira “bem desenvolvida”, o teor de ferro aumenta de 377 mg/kg no nível 20-30 cm para 1044 mg/kg no 30-40 cm, semelhante aos altos teores (acima de 1000 mg/kg) desse elemento nos níveis superiores da floresta. Esse aumento embaixo da lixeira é possivelmente devido à chegada na superfície original do solo. Existe também a possibilidade de uma diminuição de Fe trocável no solo associado com as lixeiras, através de um processo de transformação numa forma não disponível sugerido pelas médias deste elemento, que são mais baixas nas lixeiras que na floresta até 1 m de profundidade. A média mais alta de Fe nas lixeiras (578 mg/kg) encontra-se no nível 20-30 cm, justamente onde esperamos a chegada do solo original que corresponderia à superfície anterior, embora seja apenas metade do valor do mesmo nível da floresta (1.165 mg/kg).

Os teores de alumínio nas lixeiras mostraram-se baixos, como já era previsto. A média de Al, que varia entre 11.3 e 58.2 mg/kg em 1 m de profundidade do solo da floresta, varia apenas entre 1.1 e 9.7 mg/kg em 1 m de profundidade no solo da lixeira. Isso pode ocorrer porque os níveis superiores das lixeiras (compostos por restos orgânicos amontoados acima do solo original) permanecem, em sua maioria, separados do solo original, o qual apresenta níveis muito mais altos de Al. É sabido, também, que teores de Al disponível diminuem com o aumento de pH pela formação de íons de hidróxido de alumínio que são fixados com os colóides de argila ou matéria orgânica. Isso pode explicar os baixos teores de Al trocável nos níveis inferiores das lixeiras.

Diferenças acentuadas nos teores de nutrientes entre os níveis de profundidade, provavelmente, refletem a idade da lixeira, a altura de restos orgânicos amontoados e, possivelmente, as diferenças no tipo de lixo orgânico descartado no local. A análise dos dados de lixeiras de diferentes idades já obtidos (4 amostras de uma lixeira no início do seu desenvolvimento com alguns anos de idade e 3 amostras de duas mais antigas “bem desenvolvidas” de no máximo 22 anos) indicam diferenças marcantes nos teores de alguns nutrientes.

Os dois nutrientes que mais se destacam são Na e Ca. O teor disponível deles é muito mais alto nas lixeiras mais antigas. Embora tenham sido testadas apenas 3 amostras das lixeiras mais antigas e 4 da lixeira mais recente, a diferença desses dois elementos é marcante e consistente. Por exemplo, a média de Na das lixeiras mais antigas apresentou 332 mg/kg enquanto a média das amostras da lixeira nova mostrou apenas 34 mg/kg no nível de 0 a 5 cm abaixo da superfície. No nível 5 a 10 cm mostrou 259 e 30 mg/kg respectivamente e no nível 10 a 20 cm mostrou 135 e 38 mg/kg. Estas diferenças marcantes

continuam a pelo menos 1 m de profundidade. Dessa mesma forma, o teor de Ca apresentou médias de 2070 e 264 mg/kg no 0 a 5 cm, 1595 e 617 mg/kg no 5 a 10 cm e 1424 e 243 mg/kg no nível 10 a 20 cm. A diferença no teor de Ca também continua sendo marcante até pelo menos 1 m de profundidade. Os outros elementos são menos conclusivos mas testes com amostras adicionais e elementos totais, de lixeiras de diferentes idades, poderiam ajudar no esclarecimento de questões sobre mudanças do solo ao longo do tempo.

Uma comparação de pH entre as lixeiras das aldeias históricas e atual também revela diferenças. Naquelas, o pH é aproximadamente um fator mais baixo nos níveis superiores, com uma média de 5.8, mínimo de 5.1 e máximo de 6.4 no nível 0-5 cm e uma média de 6.0, mínimo de 5.2 e máximo de 6.4 no 5-10 cm. No nível 40-50 cm, o pH é igual. Nos níveis mais fundos a situação torna-se contrária. Nas lixeiras das aldeias históricas o pH é um fator mais alto com 6.3 no nível de 90-100 cm comparado a 5.2 na aldeia atual. Isso sugere que nas lixeiras mais antigas havia mais tempo para ter uma modificação do pH mais fundo.

Examinando, à parte, as lixeiras das duas aldeias históricas de diferentes idades, foi constatado que elas não seguem este mesmo padrão, mas pelo contrário. Observamos que a lixeira mais antiga (>50 anos) apresenta valores de pH ligeiramente mais altos (6.1 no 0-5 cm) nos níveis superiores do que a lixeira mais nova (22-32 anos) (5.7 no 0-5 cm). Contudo, no nível 50-60 cm, a lixeira mais antiga apresenta um valor mais baixo do que a mais nova (5.4 versus 6.2). Esta situação sugere que as diferenças encontradas não são simplesmente em função do tempo, mas sim o resultado de diferenças na quantidade ou tipo de material que foi descartado, e.g., o descarte de uma maior quantidade de cinzas em determinado local.

Áreas domésticas (casas)

Foram analisadas amostras de 237 locais dentro de 4 casas por pH e carbono (Fig. 5 e 6). As casas mostram mais variação que as outras áreas em virtude das diversas atividades. No nível de 0-5 cm o pH varia entre 3.8 e 8.6 com uma média de 5.7. No nível 5-10 cm varia entre 3.8 e 8.3 com uma média de 5.0. Um menor número de amostras foi testado do nível de 10-20 cm numa casa que variam entre 3.8 e 8.3 com uma média de 4.8. Carbono também varia bastante e apresenta um padrão semelhante ao pH; no nível de 0-5 cm, ele varia entre 1.6 e 25.5 g/kg com uma média de 10.6. Já no nível 5-10 cm varia entre 2.4 e 21.0 g/kg com uma média de 9.3. As amostras do nível de 10-20 cm variam entre 2.6 e 14.6 g/kg com uma média de 8.3.

A variação dentro das casas tem mais sentido quando cada local de amostra é colocado no contexto da sua área de atividade doméstica particular. Amostras com o pH acima de 7.0 são todas localizadas ou em fogueiras ou na área de processamento de mandioca. Podemos observar na Fig. 5 que existem quatro áreas distintas onde o pH é mais elevado, incluindo a área ao redor da fogueira da cozinha (centro em cima nas Fig. 5 e 6), a área de processamento de mandioca (centro esquerda nas figuras) e nas duas áreas de dormir (lado esquerdo e lado direito nas figuras) onde há fogueiras para aquecimento à noite. O aumento do pH é mais marcante no nível superficial 0-5 cm. Em outras áreas da casa incluindo áreas de passagem, áreas de trabalho e áreas de comer, o pH é ligeiramente elevado. Os valores de pH abaixo de 4.0 localizam-se na borda da casa. Os teores de carbono apresentam-se mais baixos nas fogueiras (2-5 g/kg). Uma elevada concentração de carbono é localizada na área de processamento de mandioca (9-18 g/kg). As outras 3 casas mostram padrões parecidos.

Áreas de processamento de mandioca

Os elementos que se destacam como especialmente altos ou baixos, em comparação a outras áreas de atividades, serão fundamentais para a criação das assinaturas. Os resultados sugerem que as áreas de processamento de mandioca apresentam um padrão distinto ou assinatura. Na comparação das áreas de processamento de mandioca com outras áreas (Tabelas 7, 8 e 9), o sódio (264 mg/kg no 0-5 cm) e o

magnésio (38.5 mg/kg no 5-10 cm) destacam-se por seus níveis elevados acima da floresta (Na=3.2 mg/kg no 0-5 cm, Mg=1.7 mg/kg no 5-10 cm) e das lixeiras (Na=162 mg/kg no 0-5 cm, Mg=3.8 mg/kg no 5-10 cm). Nas áreas de processamento de mandioca, elementos cujos níveis aumentam com a profundidade, como é o caso de P, Na, Mg, Mn, e Zn, ocorrem, possivelmente, devido à lixiviação acelerada proveniente da dispersão de muita água com o ácido da mandioca durante o processamento desta.

Tabela 7. Estatística (média, mínimo, máximo, coeficiente de variação) das amostras em áreas de floresta. C em g/kg, Na e K em cmolc/dm³, e os outros em mg/kg.

| Profund. | mín | pH | C | P | Na | K | Al | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn | Zn |
|------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0-5 cm | média | 4.0 | 35.0 | 8.9 | 3.2 | 17.9 | 58.2 | 8.9 | 3.5 | 0.3 | 1122 | 12.5 | 2.2 |
| n=12 | mín | 3.6 | 18.4 | 5.0 | 0 | 0 | 12.2 | 0 | 0 | 0 | 611 | 0 | 0.1 |
| n=26(pH,C) | máx | 4.9 | 57.4 | 14.6 | 18.1 | 77.6 | 154.3 | 49.0 | 17.3 | 0.8 | 1419 | 54.9 | 6.1 |
| | CV | 0.06 | 0.3 | 0.35 | 1.69 | 1.18 | 0.78 | 1.65 | 1.54 | 0.74 | 0.23 | 1.46 | 0.69 |
| 5-10 cm | média | 4.0 | 23.7 | 5.8 | 2.4 | 8.6 | 35.0 | 2.0 | 1.7 | 0.2 | 1355 | 9.3 | 1.7 |
| n=12 | mín | 3.7 | 13.8 | 4.3 | 0 | 0 | 9.6 | 0 | 0 | 0 | 1127 | 0 | 0 |
| n=26(pH,C) | máx | 4.3 | 37.2 | 9.6 | 12.4 | 18.1 | 78.4 | 6.4 | 7.2 | 0.8 | 1628 | 44.2 | 2.8 |
| | CV | 0.05 | 0.27 | 0.25 | 1.84 | 0.61 | 0.7 | 0.93 | 1.13 | 0.88 | 0.12 | 1.38 | 0.54 |
| 10-20 cm | média | 4.2 | 14.4 | 4.3 | 1.2 | 3.4 | 22.8 | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 1362 | 4.2 | 1.1 |
| n=12 | mín | 3.6 | 9.8 | 2.5 | 0 | 0 | 7.6 | 0 | 0 | 0 | 1065 | 0 | 0 |
| n=26(pH,C) | máx | 4.6 | 26.7 | 12.1 | 7.9 | 10.0 | 46.4 | 3.6 | 1.2 | 0.6 | 1551 | 14.0 | 1.9 |
| | CV | 0.06 | 0.29 | 0.62 | 2.01 | 0.85 | 0.64 | 1.19 | 0.81 | 1.03 | 0.11 | 1.05 | 0.52 |
| 20-30 cm | média | 4.4 | 11.0 | 2.8 | 0.1 | 4.1 | 45.7 | 2.6 | 1.1 | 0.4 | 1165 | 5.7 | 1.3 |
| n=4 | mín | 3.7 | 7.9 | 1.8 | 0 | 0.5 | 7.7 | 0 | 0.4 | 0.3 | 1043 | 2.3 | 1.0 |
| n=8(pH,C) | máx | 4.7 | 17.4 | 3.9 | 1.0 | 10.2 | 143.3 | 10.0 | 2.9 | 0.6 | 1226 | 7.3 | 1.7 |
| | CV | 0.08 | 0.34 | 0.43 | 3.25 | 1.07 | 1.43 | 1.87 | 1.1 | 0.38 | 0.07 | 0.4 | 0.2 |

Tabela 8. Estatística (média, mínimo, máximo, coeficiente de variação) das amostras em áreas de lixeira da aldeia atual. C em g/kg, Na e K em cmolc/dm³ e os outros em mg/kg.

| Profund. | mín | pH | C | P | Na | K | Al | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn | Zn |
|------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0-5 cm | média | 6.8 | 31.0 | 1390 | 162 | 624 | 1.3 | 1038 | 3.9 | 0.2 | 276 | 160.6 | 91.8 |
| n=17(pH,C) | mín | 5.8 | 16.5 | 887 | 26 | 203 | 0 | 86 | 0 | 0 | 137 | 46.8 | 4.4 |
| n=7 | máx | 8.2 | 48.8 | 1751 | 541 | 1024 | 4.0 | 3079 | 13.6 | 0.8 | 394 | 273.6 | 426.8 |
| | CV | 0.09 | 0.3 | 0.23 | 1.25 | 0.5 | 1.35 | 1.06 | 1.3 | 1.17 | 0.36 | 0.55 | 1.64 |
| 5-10 cm | média | 6.7 | 22.0 | 1737 | 128 | 494 | 2.7 | 1036 | 3.8 | 0.3 | 315 | 109.1 | 16.5 |
| n=17(pH,C) | mín | 5.8 | 8.8 | 221 | 12 | 119 | 0 | 100 | 0 | 0 | 224 | 6.6 | 0.3 |
| n=7 | máx | 7.8 | 41.4 | 3757 | 450 | 802 | 5.3 | 1917 | 11.7 | 0.8 | 432 | 275.8 | 45.3 |
| | CV | 0.08 | 0.37 | 0.72 | 1.28 | 0.53 | 0.74 | 0.68 | 1.17 | 1.01 | 0.24 | 1.1 | 1.21 |
| 10-20 cm | média | 6.2 | 19.8 | 1524 | 80 | 388 | 4.1 | 749 | 4.4 | 0.8 | 352 | 110.4 | 11.7 |
| n=13(pH,C) | mín | 5.5 | 12.0 | 104 | 9 | 130 | 1.7 | 1 | 0 | 0.1 | 184 | 12.3 | 1.7 |
| n=7 | máx | 6.9 | 40.1 | 2210 | 195 | 865 | 6.6 | 1534 | 10.8 | 3.8 | 451 | 210.1 | 24.8 |
| | CV | 0.07 | 0.42 | 0.48 | 0.8 | 0.76 | 0.38 | 0.92 | 0.86 | 1.81 | 0.3 | 0.65 | 0.81 |
| 20-30 cm | média | 6.0 | 16.0 | 933 | 135 | 396 | 3.1 | 1201 | 6.1 | 0.9 | 578 | 105.4 | 20.3 |
| n=13(pH,C) | mín | 5.3 | 7.2 | 8 | 3 | 42 | 0 | 28 | 0 | 0.2 | 377 | 10.5 | 1.5 |
| n=7 | máx | 6.8 | 30.7 | 1434 | 542 | 873 | 5.6 | 3453 | 16.5 | 3.5 | 1157 | 229.5 | 46.7 |
| | CV | 0.08 | 0.48 | 0.53 | 1.5 | 0.72 | 0.73 | 1.01 | 1.13 | 1.31 | 0.48 | 0.75 | 0.78 |

Tabela 9. Estatística (média, mínimo, máximo, coeficiente de variação)(mg/kg) das amostras em áreas de processamento de mandioca. C em g/kg, Na e K em cmolc/dm³ e os outros em mg/kg.

| Profund. | mín | pH | C | P | Na | K | Al | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn | Zn |
|------------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0-5 cm n=31 | média | 6.0 | 12.0 | 35 | 264 | 430 | 11.7 | 68 | 1.2 | 0.1 | 416 | 7.4 | 1.0 |
| | mín | 5.9 | 4.1 | 1 | 42 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 189 | 0.4 | 0 |
| | máx | 7.4 | 19.4 | 188 | 1017 | 1955 | 44.2 | 520 | 9.0 | 0.6 | 625 | 40.5 | 6.2 |
| | CV | 0.13 | 0.35 | 1.47 | 1.07 | 1.22 | 0.94 | 1.98 | 1.74 | 0.94 | 0.3 | 1.32 | 1.68 |
| 5-10 cm n=31 | média | 4.9 | 9.8 | 21 | 100 | 194 | 57.3 | 96 | 38.5 | 0.1 | 363 | 6.4 | 0.5 |
| | mín | 4.2 | 4.7 | 0 | 3 | 6 | 1.4 | 1 | 0 | 0 | 116 | 0.9 | 0 |
| | máx | 6.4 | 19.4 | 157 | 561 | 1054 | 137.9 | 466 | 271.5 | 0.9 | 527 | 36.7 | 2.9 |
| | CV | 0.12 | 0.39 | 1.77 | 1.37 | 1.42 | 0.76 | 1.15 | 1.73 | 1.2 | 0.31 | 1.17 | 1.34 |
| 10-20 cm n=28 | média | 4.4 | 8.4 | 32 | 33 | 84 | 75.6 | 38 | 15.3 | 0.3 | 438 | 5.8 | 0.9 |
| | mín | 3.9 | 5.0 | 0 | 0 | 15 | 10.5 | 0 | 0 | 0 | 256 | 0.2 | 0.1 |
| | máx | 5.2 | 16.7 | 144 | 218 | 488 | 136.5 | 183 | 72.5 | 0.6 | 679 | 28.0 | 3.7 |
| | CV | 0.09 | 0.29 | 1.13 | 1.39 | 1.15 | 0.54 | 1.2 | 1.3 | 0.52 | 0.28 | 1.03 | 0.9 |
| 20-30 cm n=28 | média | 4.4 | 6.9 | 108 | 5 | 85 | 75.1 | 28 | 9.8 | 0.4 | 608 | 25.9 | 3.2 |
| | mín | 3.9 | 3.5 | 1 | 0 | 6 | 6.0 | 0 | 0 | 0.1 | 313 | 0.3 | 0.3 |
| | máx | 5.2 | 16.7 | 389 | 36 | 286 | 134.2 | 137 | 48.3 | 0.9 | 828 | 75.3 | 14.0 |
| | CV | 0.09 | 0.35 | 0.96 | 1.81 | 0.87 | 0.56 | 1.25 | 1.17 | 0.6 | 0.22 | 0.87 | 0.98 |

A superfície do solo nas áreas de processamento de mandioca forma uma espécie de pavimento cimentado, quase sempre coberto com uma crosta branca. O solo é tão compacto nos primeiros centímetros superficiais que o trado só conseguia perfurá-lo com muita dificuldade. O pH do solo é também relativamente alto (média de 6.0) nessas áreas, pelo menos nos primeiros 5 cm. Interessante observar que os resultados mostram níveis de Al disponível, nas áreas de processamento de mandioca, que são mais elevados que os de solos da floresta. Este aumento de Al disponível, possivelmente, dá-se devido à liberação de mais Al numa forma disponível, através da lixiviação com água, misturado com ácido da mandioca.

Apraça

As áreas da praça, nas quais até agora só foram realizadas análises de pH e C orgânico, também apresentaram resultados conforme o esperado (Tabelas 3 e 4). O espaço na praça entre as casas e o centro (praça média) mostra os mais baixos valores de pH de toda a aldeia. Ele apresentou um mínimo de 4.3, máximo de 5.1 e média de 4.6 no nível superficial e mínimo de 4.1, máximo de 4.8 e média de 4.4 no nível 5-10 cm. O ligeiro pH elevado, acima do valor da floresta é, possivelmente, devido à ausência da liteira (o que tem como efeito o aumento da acidez) e à prática de remover a vegetação, amontoá-la em pilhas e queimá-la, introduzindo, dessa forma, cinza no solo. O teste de carbono retornou com um mínimo de 4.0, máximo de 18.1 e média de 8.5 g/kg no nível superficial e mínimo de 4.4, máximo de 12.9 e média de 8.6 g/kg no nível 5-10 cm. As mesmas condições proporcionam que o carbono torne-se mais baixo na praça média que em todas as áreas, com exceção de lugares isolados, que têm um teor elevado devido à prática de cavar buracos e depositar a vegetação dentro, quer seja queimada ou não.

O centro e a margem da praça apresentam valores de pH e C mais elevados e variados que a praça média, em função de atividades tais como: consumo de alimentos, fogueiras efêmeras, micção, e enterramentos (no centro). O coeficiente de variação (CV) do pH mostra claramente a maior variação nas amostras do centro e margem da praça, ambos com CV acima de 0.1, comparado com a praça média com CV de 0.04. No centro, o pH apresentou um mínimo de 4.0, máximo de 6.9 e média de 4.9 no nível superficial e mínimo de 3.9, máximo de 6.1 e média de 4.6 no nível 5-10 cm. Na margem, ele

apresentou um mínimo de 3.7, máximo de 6.6 e média de 5.1 no nível superficial e mínimo de 3.9, máximo de 5.0 e média de 4.3 no nível 5-10 cm. O teste de carbono, no centro, retornou com um mínimo de 3.6, máximo de 16.1 e média de 9.4 g/kg no nível superficial e mínimo de 4.2 mg/kg, máximo de 15.8 mg/kg e média de 9.3 mg/kg no nível 5-10 cm. Na margem, ele retornou com um mínimo de 5.3, máximo de 20.1 e média de 10.2 g/kg no nível superficial e mínimo de 5.7, máximo de 15.2 e média de 9.3 g/kg no nível 5-10 cm. Ambas as áreas apresentam valores semelhantes de pH e C, também parecidos com os de dentro das casas.

Áreas fora dos sítios

Numa área de capoeira localizada a aproximadamente 400 metros da aldeia atual, o pH é mais elevado que o da floresta até a profundidade de 2 m (Fig. 10). Nela, o pH é quase estável, variando entre 5.0 e 5.4 nos primeiros 120 cm e aumentando para 5.5 até 2 m. A capoeira, composta de capim e arbustos, apresenta quase a metade dos níveis de carbono orgânico (16.0 g/kg no 0-5 cm e 12.1 g/kg no 5-10 cm) em comparação com a floresta por causa da ausência da liteira (Fig. 11).

A área de “banheiro”, localizada nas margens externas da aldeia, apresenta o pH levemente mais elevado e um aumento inesperado no nível de carbono orgânico. Isso pode ser atribuído ao uso anterior dessa área como roça semi-intensiva preparada com técnicas de enriquecimento de solo incluindo cobertura morta, queima e deposição de restos orgânicos como foi observado em espaços semelhantes atrás das casas. Análises adicionais poderiam determinar qual a contribuição da área de “banheiro” na modificação do solo, além disso, também é necessário testar áreas agrícolas para determinar os efeitos da agricultura e das técnicas de enriquecimento no solo.

Sítio pré-histórico

Amostras de três locais em Nokugu foram testadas para pH e carbono orgânico. A primeira é a borda da praça maior (amostras até 1 m) e a segunda é a borda da praça menor (amostras até 90 cm), que podem ter sido quase todas formadas por material de lixeira amontoada, ambas apresentando uma cor escura em todo o perfil. A terceira é uma lixeira na área doméstica do sítio, cujo solo de cor escura alcança 40 cm de profundidade (amostras até 2 m). O pH apresentou-se elevado em todo o perfil nos três locais alcançando um mínimo de 5.5 e um máximo de 6.0. Um resultado inesperado foi a profundidade alcançada pela modificação do solo da lixeira, com um pH elevado de 5.9 a pelo menos 2 m de profundidade. Uma comparação desta lixeira do Nokugu com as lixeiras na aldeia atual mostra o pH mais baixo em Nokugu nos primeiros 30 cm, pH igual entre 30-50 cm e consistentemente mais alto de 50 cm até 2 m. A comparação entre os resultados da lixeira e da floresta coloca a seguinte questão: por que o pH nos níveis inferiores das lixeiras contemporâneas apresentam-se até mais baixo que o da floresta, enquanto na lixeira de Nokugu é tão mais alto?

Os teores de C orgânico são maiores nos primeiros 30 cm da lixeira, variando entre 30.5 e 36.3 g/kg que corresponde ao solo mais escuro. Diminuem para 10.8 g/kg no nível 30-40 cm e 6.9 g/kg no 40-50 cm. Abaixo de 50 cm até 2 m variam entre 1.6 e 5.8 g/kg. Os teores de C são menores nas beiras das praças, mas continuam elevados a uma profundidade maior do que a lixeira. Na praça maior, começa de 23.1 g/kg no 5-10 cm e diminui para 5.4 g/kg no 90-100 cm. A praça menor começa de 29.3 g/kg e diminui para 6.0 g/kg no 80-90 cm.

Conclusão

Nas últimas décadas, vem se consolidando uma nova visão sobre a pré-história da Amazônia, que teria sido um centro de desenvolvimento agrícola e de sociedades complexas com densas populações que impactaram significativamente seu ambiente. Isso dá à região uma nova importância para o entendimento do desenvolvimento sócio-pólitico complexo, da intensificação da subsistência e da interação do homem com o meio ambiente. O Alto Xingu apresenta uma oportunidade única para

estudar a gênese e distribuição dos solos antrópicos, por ser um dos poucos lugares na Amazônia onde as observações sobre agricultura, uso da terra e padrões de assentamentos indígenas contemporâneos podem ser diretamente ligados ao registro arqueológico.

Esta pesquisa foi formulada a partir de uma pergunta fundamental sobre a TPA: como ocorreu sua formação? Partindo dessa pergunta, a pesquisa tentará entender os processos específicos que formaram os solos antrópicos na paisagem ameríndia pré-histórica e contemporânea e, ainda, procurar transformar as análises de solos em uma ferramenta mais útil na arqueologia amazônica. A informação etnoarqueológica produzida formará a base para estudos adicionais sobre a formação e propriedades da TPA e poderá ser aplicada para ajudar a interpretar dados pedoarqueológicos de outros sítios.

O interesse pela TPA é marcado pela possibilidade de aprender a melhorar e gerenciar a fertilidade dos solos tropicais a fim de aumentar sua produtividade agrícola e sustentabilidade. Informações sobre TPA são de interesse fundamental nas discussões sobre a conservação e desenvolvimento na Amazônia. Essas discussões são particularmente pertinentes e oportunas para a Bacia do Alto Xingu, que está situada em uma zona de transição entre a Floresta Tropical Amazônica e a Região de Cerrado do Brasil Central, e é uma das regiões da Amazônia mais duramente atingida pelo desmatamento e avanço do desenvolvimento. A realização dessa pesquisa, em um âmbito mais geral, promove mudanças de perspectivas sobre povos da Floresta Tropical e, em particular, disponibiliza, aos ameríndios locais, informações sobre sua história e continuidade na região, bem como dá a eles grande orgulho e poder para proteger seus sítios arqueológicos, cultura, ambiente e direito territorial.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a colaboração da Comunidade Kuikuro, especialmente Afukaka e Tabata pelo seu apoio ao projeto e pela coleta do campo, a Laqui, Kagito, Dunga, Masinuá, e Anselmo. E também Txicão e Jahila por terem permitido o acesso a sua moradia. Pelo apoio da coordenação nas atividades do laboratório, Paulo Sarmento e Leide Lemos. Pela realização das análises laboratoriais, Patricia Oliveira da Silva, Marcelo Monteiro Farias, William Akira dos Santos, Daniel Alvino Mesquita, e Flavio Corrêa dos Santos. Carlos Augusto Palheta Barbosa pelo design gráfico das casas (Fig. 6-7) e Vera Guapindaia pela tradução do texto. Pelo seu apoio no Museu Geoldi, Maria Teresa Prost, Maria de Lourdes Ruivo, Dirse Clara Kern, Cristina Senna, Maria Emília Sales, Francisco Juvenal Frazão, Edithe Pereira, Ana Vilacy Galucio, Nilson Gabas Jr., Paulo do Canto Lopes, Daniel Lopes, Denise Schaan e Vera Guapindaia. Agradecemos, enfim, a todos aqueles outros que contribuíram de forma direta e indireta: Jucilene Amorim Costa, Joshua Toney, Christian Russel, Quintino Araújo, os técnicos do laboratório do CEPEC em Itabuna, Carlos Fausto, Bruna Franchetta, Mara Santos, Nigel J.H. Smith, Nick Comerford, Hugh Popenoe, Ken Sassaman, Willie Harris, Eduardo G. Neves, Jim Peterson e William Woods.

A Etnociência Comparativa das Terras Pretas Amazônicas

Laura A. German
Susanna B. Hecht
Maria de Lourdes Ruivo

Este capítulo enfatiza os conhecimentos indígenas e caboclos sobre a pedologia, ecologia e dinâmica de produção da Terra Preta de Índio (TPI) e a relação entre esses conhecimentos e as práticas de manejo. O conhecimento pedológico local complementa o conhecimento científico, permitindo uma visão mais robusta e integrada do mundo natural. No entanto, as semelhanças entre esses corpos¹ de conhecimento são muitas. Sabe-se, por exemplo, que cada uma delas origina-se dentro de tradições de conhecimento local e estrutura-se a partir de motivos tanto intelectuais como utilitários (Atran, 1990; Hunn, 1982; Lévi-Strauss, 1966). Na pedologia tropical em particular, as percepções e as categorias tradicionais podem exceder aquelas da ciência ocidental. Apesar dessas semelhanças, o conhecimento local dá maior ênfase ao conhecimento localizado (não ao geral), utiliza diferentes meios de percepção (olfato, tato, sabor) (DeWalt, 1994), e varia conforme valores específicos que motivam a discriminação perceptual utilitária (em adição ao simple interesse intelectual). Por um lado, pesquisadores amazônicos interessados no fenômeno da TPI podem se interessar por padrões de variabilidade pedológica ao nível da Bacia, utilizar técnicas analíticas complexas na avaliação da qualidade do solo, e ainda dar ênfase na maximização da capacidade produtiva dos solos ácidos de terra firme com o mínimo de impacto ecológico. Por outro lado, os agricultores locais podem querer maximizar sua compreensão dos solos da vizinhança imediata (aos quais eles têm acesso ou tem observado) e confiar na visão, tato, olfato, história contada e indicadores botânicos para uma avaliação da qualidade desses solos visando a otimizar o rendimento de culturas específicas e minimizar o gasto dos recursos limitados (mão-de-obra, nutrientes, capital). Outrossim, o conhecimento etnocientífico representa um valioso recurso para compreender de forma qualitativa a ecologia da TPI (a sucessão, a reciclagem de nutrientes, etc.) e o comportamento do solo através do tempo sob diversas práticas de manejo. Finalmente, a pesquisa etnoecológica contribui para a compreensão da importância cultural, a produtividade e a sustentabilidade da TPI em função do contexto histórico e geográfico. Ela pode ser dividida em cinco temas básicas: origem, classificação local em relação a outras classes de solo, ecologia, características pedológicas e sustentabilidade sob diversos usos. Este capítulo discute cada um desses temas à sua vez, integrando resultados e observações de campo de várias localidades amazônicas e discutindo-os em termos das semelhanças e contradições encontradas.

O Conhecimento Etnocientífico de TPI

“Terras pretas Amazônicas” é a terminologia acadêmica padrão para se referir a essa classe de antrossolos já que reconhece a variabilidade interna dessa classe de solos. Contudo, a terminologia utilizada entre habitantes urbanos e rurais da região é 'Terra Preta' ou 'Terra Preta de Índio.' Quando se referem à terra preta, os índios Baré utilizam o termo '*pixuna*', e os Kayapó o termo '*tyk*' ambos se referindo à cor preta. Este último também se refere à qualidade de uma queima de baixa temperatura ('*char*' em inglês, que significa 'torrado'), em contraste com uma queima de alta temperatura que produz cinzas de cor branca. Essa terminologia dá-se apesar do reconhecimento local da variabilidade que existe dentro de e entre áreas de TPI. Em função da ênfase *etnoecológica* deste capítulo, a terminologia local ('terra preta') será utilizada daqui em diante quando houver referência a esses solos.

¹Reconhecendo que muitas vezes há uma maior diversidade interna a cada um desses “corpos” de conhecimento do que as diferenças que os separam.

A origem da TPI

Enquanto a literatura científica reconhece a origem antropogênica da terra preta, essa afirmativa não é compartilhada por muitos grupos amazônicos (Mazurek, comunicação pessoal; Sombroek, 2002, citando Pabst, 1993; German, 2001). É bem reconhecido que os moradores da terra firme fazem modificações intencionais do solo para otimizar o rendimento de várias culturas (Hecht & Posey, 1989) e observam efeitos pedológicos (por exemplo, o escurecimento gradual) causados pela queima e pelo uso de restos vegetais mortos em pomares permanentes e roças de ciclo curto (Woods & McCann, 1999). Se fosse verdade que a TPI ainda continua sendo formada dentro de quintais rurais e urbanos da região, como é sugerido por Smith (1980) e outros autores, a origem antropogênica desse solo deveria ser bem conhecida pelos moradores locais da região. A falta de reconhecimento desses processos dentro de muitos grupos étnicos pode ser devida ao rompimento histórico nos padrões de assentamento e de uso e modificação de terra (Denevan, 1992; Roosevelt, 1998), ou ao tempo considerável (décadas ou mais) requerido para a formação desse solo (Denevan, 1998).

As percepções dos moradores locais demonstram a tendência em ver a Terra Preta como produto da natureza e não do homem. Setenta e cinco por cento dos agricultores entrevistados por German (2001), em ecossistemas de água preta na Amazônia Central, acham que a *terra preta* tem origem “natural”, que não faz parte dos artefatos da atividade humana. Enquanto todos os entrevistados disseram que a *terra comum* (Latossolo Amarelo) é “crua” e “da natureza”, o consenso diminuiu de forma considerável para a *terra preta* (Fig. 1). Enquanto a maioria deles afirma que a terra preta é queimada e não “crua” no seu estado natural (debaixo de floresta velha), ainda não é reconhecida como antropogênica, como sugere o dito comum, “se fosse feito pelo homem, todo o mundo teria feito”. Isso é confirmado pelo alto nível do consenso (>70%) de que a terra preta é produto da natureza (German, 2001).

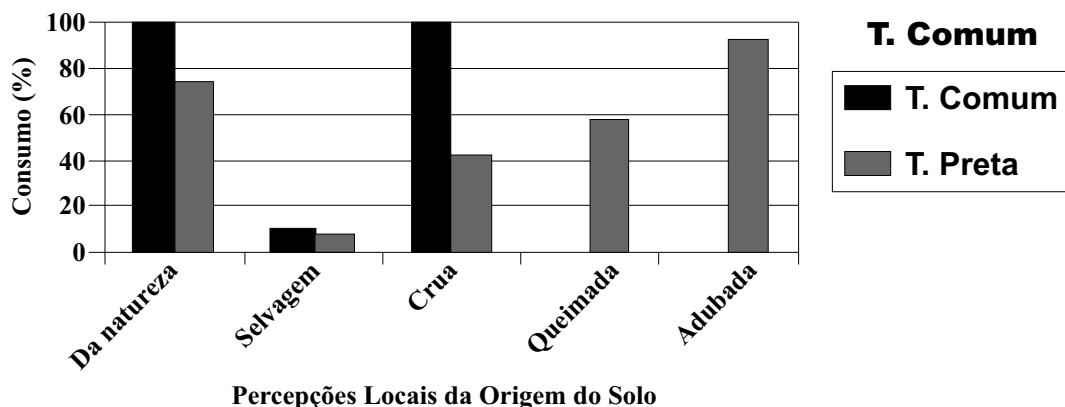


Fig. 1. Grau de Consenso sobre as Propriedades do Solo Relacionadas à sua Origem (adaptado de German, 2001)^a.

^aA metodologia consistiu em entrevistas semi-estruturadas com moradores do Baixo Rio Negro e Rio Urubú (Amazônia Central) para identificar os atributos utilizados no reconhecimento e classificação do solo; entrevistas estruturadas para determinar até que ponto cada solo exibe cada atributo; e a estatística descritiva para determinar a porcentagem de agricultores que conferem determinado atributo a cada classe de solo.

É interessante notar que muitos indivíduos continuam vendo a terra preta como “crua” e “da natureza” apesar da alta fertilidade e da cor escura desse solo, já que acreditam que qualquer terra escura/fértil é produto (transitório) da queima e da ação humana. Também é curioso que os moradores locais estejam mais dispostos a aceitar a condição de queimada da terra preta do que a sua origem

humana. Esses padrões de cognição pedológica parecem ser motivados tanto pelas propriedades comuns do solo da terra firme como pelos padrões de uso de terra que têm predominado através da época histórica. A convicção de que o aumento de fertilidade e o escurecimento da matriz de solo pela atividade humana sejam, por natureza, impactos ambientais transitórios podem derivar da quase exclusiva dependência dos agricultores na queima para manter um nível adequado de nutrientes no solo debaixo do sistema de roça-e-queima no Latossolo Amarelo, e o retorno rápido da fertilidade e cor do solo às condições pré-queima após o abandono da roça. Outros autores têm observado que a terra preta não se forma com a frequência de queima natural ou daquela associada às práticas contemporâneas de roça-e-queima (Woods & McCann, 1999; Smith, 1980).

Certas atividades desses moradores sugerem uma crença fundamental na modificabilidade do solo. Um desses exemplos é a *coivara*, uma prática na qual os resíduos de plantas e árvores são amontoados e queimados para criar microambientes de alta fertilidade dentro da roça; outro é a incorporação de cinzas e carvão em canteiros elevados para o cultivo de hortaliças exigentes em nutrientes (tomate, cebola). Na superfície, essas observações parecem apoiar as conclusões de Hecht & Posey (1989) entre os Kayapó, e de Woods & McCann (1999) para a região de Santarém, de que a formação de terra preta é similar a outros processos intencionais de modificação do solo. Apesar dessas práticas intencionais de modificar o solo, os caboclos compreendem o efeito delas nas propriedades do solo como sumamente *transitórios*. A sua incapacidade de catalizar mudanças duráveis nas propriedades de solo, apesar dos esforços feitos no dia-a-dia, tem implicações importantes para a sua compreensão do processo de formação da terra preta. Dentro desse marco conceitual, a resistência à idéia da origem antropogênica da terra preta, apesar de outras propriedades tradicionalmente compreendidas como artefatos humanos (alta fertilidade, cor escura), é lógica. A explicação preferida por esses moradores, ressaltada nas primeiras teorias científicas sobre a formação da TPI (Cunha Franco, 1962; Falesi, 1972; Fourou, 1949), é que os artefatos encontrados nessas áreas (ferramentas, cultivares, cacos de barro) evidenciam que os moradores indígenas anteriores também conheciam uma terra boa quando a viam. Um caboclo do Rio Urubu explica: “Os índios procuravam terra boa porque eram agricultores aficionados. É por isso que só moravam na terra preta.”

Apesar dessa resistência à idéia da terra antropogênica entre vários grupos Amazônicos, segundo o Hecht, os Gorotire Kayapó reconhecem a sua origem antrópica. As TPI fazem parte dos “pomares caseiros” conhecidos como “*Atykma*” que ocorrem ao longo do perímetro das suas aldeias circulares (Fig. 2). O centro da paisagem Kayapó é a praça central (*Ipôkre*), rodeada pelo *Kikrê* a área do lar (“*Ki*”) constituída de casas e fogos caseiros. Essa área doméstica é rodeada pelo *Atykma*, que consiste de paisagens antropogênicas, especialmente aquelas modificadas pelo uso de fogo e cinzas escuras. A etiologia de *Atykma* baseia-se no termo *Tyk*, significando torrado, escuro e fértil. Consiste no perímetro urbano, como também no domínio de modificação humana. Os Kayapó o compreendem como o resultado da intervenção humana já que estão ativamente empenhados na produção desse solo por meio da adição de nutrientes (cinzas, etc.) e pela diferenciação cognitiva espacial que faz parte da sua compreensão do universo. A *Atykma* tem significado em relação às casas e ao ordenamento urbano e também faz parte da cosmologia Kayapó. Essa área fortemente antropogênica é rodeada pela floresta (“*Bà*”), áreas de modificação mais sutil, e finalmente pelo mundo de gente estranha, os “*Kubên*”. A correlação entre o grau de modificação antrópica e a química do solo na cosmologia concêntrica dos Kayapó (Tabela 1) sugere que processos contemporâneos de formação de terra antrópica podem ter existido no passado recente, se bem que teria que analisar a química de solo em assentamentos recém abandonados para poder afirmar essa hipótese.

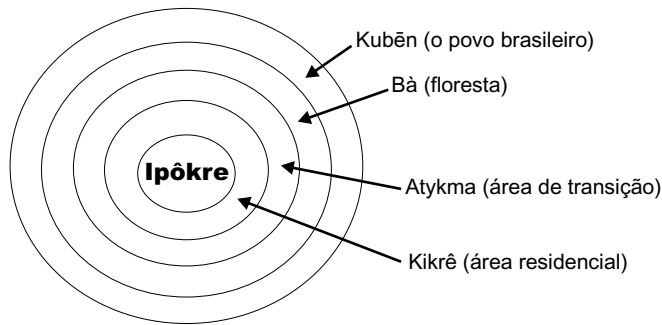


Fig. 2. Diferenciação Espacial do Universo na Cosmologia Kayapó.

Tabela 1. Carga de Nutrientes (0 cm -10 cm) de Vários Elementos Paisagísticos da Cosmologia Kayapó.

| | pH | C [gm kg ⁻¹] | N [gm kg ⁻¹] | P [mg kg ⁻¹] | Ca [cmolc kg ⁻¹] | Mg [cmolc kg ⁻¹] | K [mg kg ⁻¹] |
|----------|-----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Ipôkre a | 4,3 | 16,9 | 0,8 | 3 | 0,15 | 0,12 | 83 |
| Lixeirab | 6,7 | 26,7 | 1,3 | 127 | 5,35 | 0,92 | 2.141 |
| Lixeirac | 6,5 | 18,2 | 0,8 | 80 | 2,09 | 0,79 | 2.208 |
| Jardim | 5,3 | 21,9 | 1,6 | 111 | 3,60 | 0,65 | 167 |
| Atykma | 5,2 | 27,2 | 1,0 | 97 | 3,72 | 0,69 | 393 |

^aO baixo conteúdo de nutrientes na praça central e o alto nível de fertilidade do Atykma são artefatos da ação humana.

^bLixeira não queimada.

^cLixeira queimada.

A diferença cognitiva às vezes sutil entre a modificação permanente e transitório não sendo explícita nessa pesquisa dificulta a comparação com outros grupos Amazônicos. No entanto, Hecht constata que a dicotomia 'homem-natureza' na visão etnoecológica dos Kayapó é menos marcada do que na cognição cabocla, e que a categoria paisagística *Atykma* o domínio de ação humana e da fertilidade designa a penetração da ação humana na natureza ou bem a sua inscrição na paisagem. Para os Kayapó, “selvagem” e “manso,” “cru” e “cozido” não são dicotomias, mas divisas não bem marcadas ou graus de transição mútua. Já que “selvagem” pode abranger traços de “cultura” (de fato, os próprios animais têm a sua cultura, o fogo, o arco e as flechas e até a própria mandioca tendo a sua origem no roubo da onça; ver Wilbert 1978), a cultura tem elementos “selvagens” e sua cognição do ambiente está fortemente ligada a diversas qualidades. O *Atykma* é a arena da interação criativa entre a natureza e a cultura e, embora seja dinâmico, o seu impacto não é percebido como “transitório.” A agricultura, portanto, é vista tanto como a iniciação de etapas de sucessão, como a produção de culturas anuais. A cosmologia cabocla também reconhece essa interação cultura-natureza (por exemplo, nas feras que têm rasgos humanos), mas a natureza muitas vezes representa uma força a ser domesticada (e que muitas vezes resiste à domesticação). Isso é notável nos conceitos de beleza (um horizonte agrícola e com floresta derrubada) e do lixo (o que inclui as plantas invasoras nos quintais de casa, mas muitas vezes não o plástico), e nos esforços para conquistar a natureza (melhorar a terra, suprimir as plantas invasoras). Conforme essa cosmologia, os Kayapó também vêem os seus impactos pedológicos como relativamente duráveis e como um componente discreto do ambiente. Enquanto isso concorda com a maneira com que eles se relacionam com outros aspectos do ambiente natural a modificação da paisagem, a concentração de plantas úteis dentro da floresta e a queima também não existe uma dicotomia caboclaíndígena no sentido de reconhecer a interpenetração entre a cultura e a natureza.

A associação de gente com terra escura também faz parte da cosmovisão de outros grupos indígenas. Zucchi (2002) observa que o lugar onde Kuwai, o herói cultural Arawak, se personifica é uma área de terra preta na cachoeira Hipana no Alto Rio Ayari, na Bacia do Rio Negro. Kuwai cai

empurrado no fogo dentro do assentamento, e das cinzas surgem os cipós utilizados na construção de flautas sagradas e trompetas. A terra preta nesse mito Arawak é essencial no ritual cultural e nos ciclos de renascimento. A evidência atual da cognição da origem da Terra Preta entre os diversos grupos Amazônicos sugere que as diferenças são mais em função do conteúdo simbólico do conhecimento, do que da origem em si já que tudo grupo ou etnia reconhece a *correlação* entre o homem e as TPI. Não obstante, a cognição da permanência das ações humanas a modificarem a natureza merecem maior atenção.

Um aspecto final da origem da terra preta merece ser destacado. Envolve uma teoria proposta por Denevan (1998), que sugere que a terra fértil criada pelo assentamento prolongado e/ou práticas agrícolas semi-intensivas no passado chegaram a atrair novos grupos para a área, formando áreas prioritárias para a agricultura e assentamento e assim, através do tempo, levando a processos de formação pedológica autoperpetuantes. Apesar de que para alguns grupos indígenas (os Kayapó, Waimiri-Atroari) a terra preta representa um estímulo para a escolha de áreas de roçado ou assentamento, pesquisa sistemática com os moradores do Baixo Rio Negro sugere que em décadas recentes a presença da terra preta na paisagem tem tido um papel não significativo na seleção de áreas de assentamento para a maioria dos moradores (com exceção dos poucos agricultores que hoje a cultivam de forma intensiva para o mercado). Além disso, entre os índios Baré do Alto Rio Negro, esse solo é pouco reconhecido e utilizado. A importância relativa da terra preta nas estratégias de subsistência de diversos grupos étnicos e através do tempo é enfatizada em outra publicação (German 2003), e deve ser considerada em qualquer interpretação das modificações antropogênicas da paisagem.

Classificação etnopedológica

A pesquisa sobre os sistemas locais de classificação é considerada um meio importante para analisar as percepções locais da natureza (Balée, 1994; Berlin, 1992). A informação derivada dessas classificações inclui a saliência relativa de fenômenos naturais semicontínuos (como no caso do solo), critérios que definem a associação entre classes de objetos e os limites de associação. Pesquisadores de terra preta têm tentado identificar atributos criteriosais (aqueles que definem a inclusão na classe de objetos) para a terra preta e as suas variantes. Aqueles citados incluem o cálcio trocável (Ca), fósforo (P) e matéria orgânica (Woods and McCann 1999), e para Woods, McCann & Meyer (2000), o fósforo e a cor e abundância de artefatos. É útil compreender como os moradores locais classificam o solo, e os critérios que utilizam para determinar a associação de qualquer solo com uma classe conhecida e também como a classificação reflete a percepção e as preocupações utilitárias.

A literatura enfocada na classificação indígena ou local de terra amazônica é limitada, e mais ainda para a TPI. Uma comparação preliminar pode ser feita com os resultados de Woods & McCann (1999) e German (2001). Woods & McCann (1999) encontraram alguns agricultores que podem ser classificados como “lumpers”, aqueles que identificam apenas uma classe de terra preta, e “splitters”, aqueles que diferenciam entre subclasses de terra preta. É interessante notar que existe uma tendência para identificar um protótipo (“terra preta *legítima*”) em cada região de pesquisa desses autores (o Baixo Rio Negro, o Rio Urubu, e localidades perto de Santarém). Embora os agricultores de cada região contrastem a “terra preta legítima” com a “terra preta fraca”, o fundamento principal para diferenciá-las na pesquisa de German (2001) é a textura (“terra preta arenosa”, “terra preta barrenta” ou “terra mesma” indicando solos de textura misturada). Outros agricultores utilizam a cor como critério para mostrar a diferença (terra preta “bem preta” ou “branquecenta”). A camada inferior ilustrada na Figura 3 mostra como indivíduos utilizam critérios diversos para discriminar entre as subclasses de solo, mas que os critérios utilizados são comuns entre a terra preta e o Latossolo Amarelo (“terra comum”).

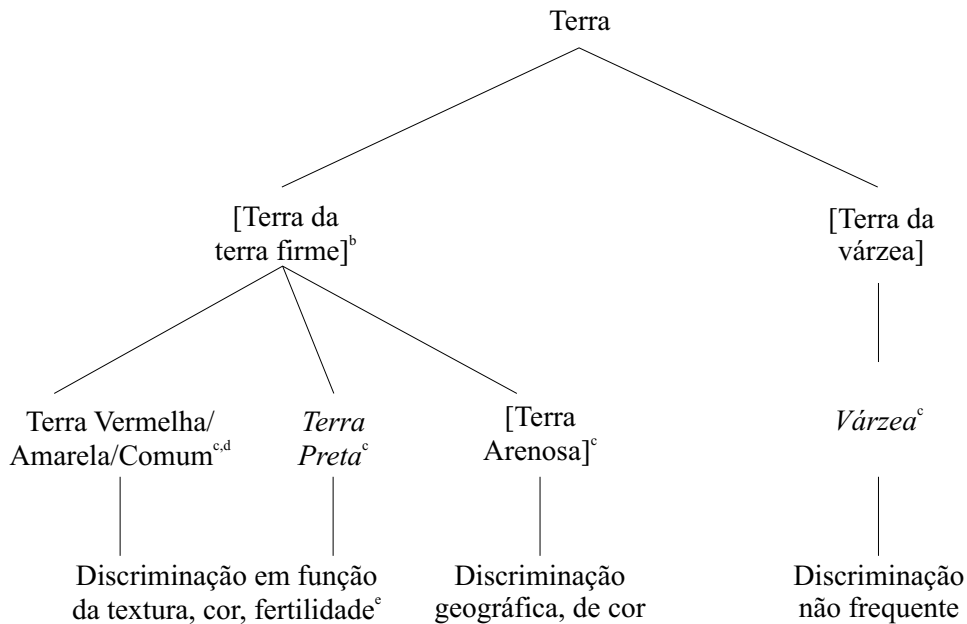


Fig. 3. Sistema de Classificação no Baixo Rio Negro^{a,5}.

^aClasses e subclasses foram elicitadas por meio da listagem livre, começando com as classes populares mais salientes ("folk generic") e seguindo com as subclasses. A estrutura hierárquica foi inferida de padrões nas respostas.

^bPalavras entre parênteses representam categorias facultativas ou "covert" (ver Berlin, 1992).

^cEsse nível se refere à taxa mais saliente, ou o 'folk generic' (Berlin, 1992).

^dUma variação desse sistema de classificação substituiu essa classe com o Barro Amarelo/Vermelho, em contraste à Terra Arenosa.

^eApenas os critérios para discriminar entre subclasses são mencionados no nível inferior da ilustração, devido à diversidade de respostas.

Essa classificação cabocla ilustra a saliência relativa de Terra Preta e outras classes de solo da região. A localização de terra preta a nível de outra taxa "folk generic"², o uso de critérios similares para diferenciar as subclasses de Terra Preta e de outros solos, e a diferenciação de cada classe até apenas um nível mais (até o "folk specific") indica que a Terra Preta é igualmente saliente aos solos predominantes (não antropogênicos) da região. Essa estrutura pouca profunda é mais característica das classificações de "propósito especial" de que as classificações de "propósito geral" fundamentadas em descontinuidades morfológicas objetivas do mundo natural (Balée & Daly, 1990; Berlin, 1992). Contudo, parece ser comum para taxonomias locais de solo (Furbee, 1989; Queiroz & Norton, 1992; Warren, 1992), para as quais as descontinuidades espaciais e morfológicas são em parte 'objetivas' (de propósito geral, intelectuais) e em parte subjetivas (de propósito especial, utilitárias) (Sillitoe, 1998). Também pode refletir a perspectiva do entrevistado, seja em função do gênero, interesse político ou outro fator (Ellen, 1993).

Além da textura, cor e fertilidade, os Kayapó também utilizam indicadores botânicos e faunísticos na identificação da qualidade de solo. Assim, a fauna (cupins, formigas, tatu) pode ser utilizada para qualificar o solo e suas características ligadas a processos ecológicos localizados que expressam suas diferenças. O nível de diferenciação entre classes de solo na cognição pedológica Kayapó também é maior que a classificação científica. Portanto, o conhecimento local de solo está intimamente ligado a valores e recursos locais, a sistemas de produção sumamente integrados e ao contexto social onde está inserido. Por exemplo, o conhecimento é especializado em função das responsabilidades principais e,

²Taxa "folk generic" são classes de solo que co-existem a um só nível de saliência e correspondem à elicitación "classes de solo," enquanto taxa "folk specific" são subclasses dos solos classificados como "folk generic" (i.e., classes que entrariam no nível inferior na Figura 2).

portanto, de gênero. Enquanto as mulheres Kayapó mais velhas diferenciam mais a classificação de solos agrícolas, é provável que as características de solo mais valorizadas para a caça (terra arenosa para o tatu, por exemplo) ou associadas à comida que atrai diversos animais, sejam aquelas articuladas pelo homem.

Vale ressaltar que enquanto as percepções de diferença entre classes de solo estão associadas a características únicas e facilmente observáveis, como a textura ou a cor (Adewole Osunade, 1992; Sandor, 1996), essas propriedades dominantes geralmente abrangem parâmetros múltiplos que co-variavam com a característica principal. Muitas vezes correspondem a distinções de adequação para tarefas específicas (Silltoe, 1998) e, portanto, se diferenciam dos padrões científicos fundamentados em propriedades morfológicas ou níveis de elementos específicos. As propriedades abarcadas nessas classificações serão discutidas em maior detalhe mais adiante.

Etnoecologia da Terra Preta de Índio

Os moradores da região diferenciam a terra preta de ambientes adjacentes não só com base nas diferenças pedológicas, mas também em função de diferenças percebidas na composição e estrutura da vegetação e na dinâmica de nutrientes. De acordo com Smith (1980) e McCann (1999b), os moradores amazônicos contemporâneos são atraídos pela elevada fertilidade da terra preta e pela abundância de plantas úteis. Embora o sistema de roça-e-queima seja o uso predominante da terra preta hoje em dia, é importante reconhecer a possibilidade de usos alternativos no passado. “Artefatos vivos” de ocupantes anteriores e dados etno-históricos oferecem informação que ajuda a reconstruir a história de uso desses sítios.

João de Tumbira descobriu uma Terra Preta caçando. Entrou na mata e viu uma abundância de Taperebá. Depois, ele olhou pelo chão. Quando ele viu a Pimenta de Jabuti, começou a escavar, dizendo, 'olha, Terra Preta!' Depois olhou para ver se havia Limorana, e havia muito. A Flecheira, naturalmente, foi abundante na terra preta também. A terra preta produz muita Palha Branca, também.

Outro morador descreve três etapas consecutivas na identificação da terra preta dentro da floresta: identificação da grossura média do tronco de árvores maduras (em geral baixa na terra preta), a presença de espécies indicadoras específicas da terra preta, e a cor do solo. Isto sugere que seus atributos criteriosais não são exclusivamente botânicos. Os caboclos também observaram outras espécies não exclusivas da terra preta, mas encontradas em maior abundância nela, e assim percebidas como espécies indicadoras de sua ocorrência. Outras espécies são associadas à primeira etapa de sucessão, emergindo depois da queima no estabelecimento de roçados novos. Essas espécies incluem o mamão, a goiaba, cultivares nativas e um conjunto de ervas daninhas exclusivas da terra preta. Uma das florestas mais velhas de terra preta ao longo do Rio Negro, na área de Velho Airão, não tem sido derrubada há muitas décadas e é visitada com muita frequência pelos moradores locais para a caça e a coleta. Esses usos alternativos são aparentes na história contada, como evidenciado na seguinte narrativa sobre um sítio no Baixo Rio Negro descoberto durante uma excursão rotineira de caça:

[O caçador] disse pra mim, 'venha ver a quantidade de Cutia [*Dasyprocta* sp.]' Menina, você nem acredita. Na beira da roça achamos Cutia. Quando cheguei lá, Tucumã, Tucumã *espalhado*. Depois ele matou um Veado de Capoeira [*Mazama* sp.] muito grande, um tipo de veado que você só vê na terra preta. Um pássaro chamado Jacú [Fam. Cracidae] também gosta de comer debaixo do Taperebá. Outro chamado Mutún Preto [Fam. Cracidae] também gosta da terra preta. O Inhambu Galinha [*Tinamus guttatus*] também. A terra preta produz muita caça, devido à quantidade de fruta que cresce lá. Mas quando você mexe com ela, acaba mesmo. Depois de que começaram a fazer roça nela, tudo isso acabou. O Caiaué [*Elaeis oleifera*] acabou. A caça também. Se eu morasse perto duma terra preta virgem hoje em dia, eu não deixava ninguém mexer com ela. Pra só ficar juntando aquela caça.

Tabela 2. Espécies Identificadas pelos Moradores Locais pela sua Associação com a Terra Preta.

| Classificação de Espécies | Nome Vulgar (Português) | Nome Vulgar (Inglês) | Nome Científico | Referência |
|--|-------------------------|----------------------|--|-------------------------------|
| Espécies Indicadores de Terra Preta | Babaçu | Babassu palm | <i>Orbygnia phalerata</i> Mart. | [McCann 1999b] |
| | Cacau | Cocoa | <i>Theobroma cacao</i> L. | [McCann 1999b] |
| | Caiaué | American Oil Palm | <i>Elaeis oleifera</i> Cortes | [Andrade, 1983; German, 2001] |
| | Camu-Camu | - | <i>Myrciaria dubia</i> McVaugh | [German, 2001] |
| | Carapê | - | <i>Licania octandra</i> Ktze | [obs. pess.] |
| | Castanha-do-Pará | Brazil Nut | <i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl. | [McCann, 1999b; Balée, 1989] |
| | Sumaúma | Ceiba | <i>Ceiba pentandra</i> Gaertn. | |
| | Cupuaçu | - | <i>Theobroma grandiflorum</i> Schum. | [McCann, 1999b] |
| | Flecha | Arrow Cane | <i>Gynierum sagittatum</i> Beauvois | [McCann, 1999b] |
| | Ipadu | Coca | <i>Erythroxylum coca</i> Plowman | [German, 2001] |
| | Limorana | - | <i>Chomelia anisomeris</i> Muell. | [McCann, 1999b] |
| | Murumuru | - | <i>Astrocaryum murumuru</i> Henderson | [obs. Pess.] |
| | Pimenta de Jabuti | - | <i>Geophila cordifolia</i> Steyerem. | [obs. Pess.] |
| | Taperebá | Hog plum | <i>Spondias mombim</i> Urb. | [obs. pess.] |
| | | | | [German, 2001; McCann, 1999] |
| | | | | |
| Espécies Voluntárias Comestíveis | Cará de Índio | Cocoyam | <i>Xanthosoma sagittifolium</i> Schott | [obs. pess.] |
| | Cariru | - | <i>Talinum fruticosum</i> Juss. | [obs. pess.] |
| | Feijão -de-Índio | - | <i>Phaseolus</i> sp. | [obs. pess.] |
| | Mamão | Papaya | <i>Carica papaya</i> L. | [German, 2001; McCann, 1999b] |
| | Mandioca | Bitter manioc | <i>Manihot esculenta</i> Crantz. | [obs. pess.] |
| | Maxixe | West Indian gherkin | <i>Cucumis anguria</i> L. | [McCann, 1999b] |
| | Pimenta | Pepper | <i>Capsicum</i> sp. | [McCann, 1999b] |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Espécies mais abundantes em florestas de Terra Preta | Açaí | Açaí palm | <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | [German, 2001] |
| | Bacaba | - | <i>Oenocarpus distichus</i> Mart. | [German, 2001] |
| | Goiaba | Guava | <i>Psidium guajava</i> L. | [obs. pess.] |
| | Manga | Mango | <i>Mangifera indica</i> L. | [German, 2001] |
| | Palha branca | - | <i>Attalea ataleoides</i> Boer | [obs. pess.] |
| | Tucumã | Star nut palm | <i>Astrocaryum vulgare</i> Mart. | [German, 2001] |

"Entradas classificadas como "observação pessoal" (obs. pess.) são de sítios de terra preta na Amazônia Central, nos rios Negro, Urubu e Jauá.

Os Gorotire Kayapó fazem observações similares, mas as associam à sua própria história. No ano 1982, levaram o antropólogo Darrell Posey a uma área onde havia uma aldeia antiga. Ali, eles indicaram uma série de árvores frutíferas, utilizando a densidade dessas árvores como indicadora de ocupações históricas. Similar aos caboclos do Rio Negro, eles vêem essas capoeiras antigas não como áreas abandonadas, mas como fonte de caça. Diferentemente dos caboclos (que manejam essas áreas para a caça raramente, nas poucas áreas ainda protegidas), os Kayapó selecionam e manejam essas áreas para atrair a caça um elemento importante do manejo de paisagens, para minimizar a distância entre a caça e o assentamento humano. Eles também reconhecem que há uma maior densidade de cutia e veado de capoeira nesses ecossistemas ricos em frutas e sementes, enquanto os meninos caçam mamíferos pequenos incluindo alguns pássaros, assim contribuindo para a dieta familiar (Posey 2001).

Além da composição de espécies, os moradores locais reconhecem uma estrutura distinta da floresta na terra preta. Isso inclui uma copa mais baixa na floresta madura, um sub-bosque mais denso (Woods & McCann, 1999), uma menor grossura média de tronco de árvores maduras (German, 2001) e uma maior porcentagem de cipós e plantas espinhosas (German, não publicado). Uma exceção é o cipó titica (*Heteropsis spruceana* Schott), o qual, segundo os moradores, é encontrado apenas em floresta primária porque precisa de maior sombra. Como McCann (1999b) observa, essas diferenças resultam da modificação direta da abundância de espécies pelos habitantes anteriores, respostas ecológicas indiretas ao ambiente modificado e da atividade humana na história recente.

Os caboclos da Amazônia Central também percebem diferenças na reciclagem de nutrientes entre a terra preta e os ambientes adjacentes. A mais notável dessas é a tendência das espécies associadas às primeiras etapas de sucessão de recolonizar mais rapidamente em *terra preta* (ver também Major et al., 2003). Dados obtidos de entrevistas semi-estruturadas (Tabela 3) sugerem que a acumulação de biomassa em áreas de capoeira ocorre cerca de duas vezes mais rápido na terra preta em relação a ambientes adjacentes.

Tabela 3. Percepções Locais do Tempo Estimado para a Capoeira “Fechar” em Diversos Tipos de Solo, Baixo Rio Negro e Rio Urubú (Amazônia Central).^a

| Classe de Solo | Anos Estimados (média) |
|------------------------|------------------------|
| Terra Preta | 1,83 ± 1,5 |
| Terra Amarela/Vermelha | 3,61 ± 2,9 |
| Terra Barrenta | 3,60 ± 2,7 |
| Terra Arenosa | 4,00 ± 2,9 |

^a As respostas foram obtidas de entrevistas estruturadas (n=12). O alto desvio padrão pode indicar diferentes percepções sobre o conceito de “capoeira fechada”, mas isso não afeta a diferença marcada entre terra preta e solos adjacentes.

Os agricultores observaram essa dinâmica com frustração, dizendo que “a terra preta fecha *muito*”. Isso requer maior mão-de-obra, em particular para aquelas culturas que demoram a produzir. Esse é um dos motivos pelos quais os agricultores de escassos recursos preferem plantar culturas de ciclo curto (hortaliças, milho, feijão) em terra preta do que a mandioca e outras culturas tradicionais. Essa preferência para ciclos curtos de plantio e encapoeiramento também reflete uma menor dependência na queima para restaurar a fertilidade de solo (German, 2001). Alguns agricultores alegam que um sub-bosque denso da terra preta faz com que a queima seja mais efetiva:

A terra preta é mais difícil de roçar, de limpar, mas tem a vantagem que a terra fica mais queimada. Morador do Baixo Rio Negro

Na terra preta, é só esquentar a terra um pouco, você planta, e dá. Não na outra terra. Se você só esquentar a terra, se não queima bem, não vale a pena nem plantar, que não vai dar mesmo. Morador do Baixo Rio Negro

Em contraste, os agricultores percebem que a acumulação de biomassa nas etapas tardias de sucessão é mais lenta na terra preta. Há um alto nível de consenso entre eles que isso não se deve unicamente à ausência de floresta primária na terra preta, mas também ao crescimento lento da vegetação em etapas avançadas da sucessão. Se isso for verdade, essa propriedade da floresta teria pouco impacto na sustentabilidade sob práticas atuais de manejo devido à tendência de abrir capoeira jovem no estabelecimento de roçados na terra preta (German, 2001).

Cabe notar que os fogos moderados são onipresentes ao longo do ano nos roçados de caboclos e indígenas da região. A rápida recolonização de ervas daninhas em solos antropogênicos implica maior mão-de-obra, mas também tem o seu lado positivo. A prática freqüente de queimar a vegetação emergente com fogo moderado (“*cold burning*” ou “torrando”) é vista como um meio importante para readubação e controle de ervas daninhas durante o ciclo de cultivo, mas a uma temperatura na qual as raízes de batata doce, cará e mandioca não são destruídas. Os fogos associados ao estabelecimento do roçado entre os Kayapó muitas vezes são mediados por um especialista ou “*shaman*” e por indicadores ecológicos (o florescimento de certas árvores, a aparência de constelações, o retorno de certas espécies de peixe ou pássaros migratórios) que prognosticam o fim da estação seca e a hora do estabelecimento de roçados.

Qualidade do solo

Atualmente, a terra preta é considerada um recurso importante em diversas partes da Amazônia (Denevan, 1998; Smith, 1980; Woods & McCann, 1999). Essa preferência tem sido observada entre grupos indígenas e caboclos (Smith, 1980), e agricultores de grande e pequena escala (German, 2001), mostrando a ampla importância cultural desses solos. Contudo, existem exceções em função de fatores culturais, biofísicos ou econômicos localizados que inibem seu uso para a agricultura. Para grupos indígenas do Alto Rio Negro, por exemplo, o isolamento de mercados centrais, a importância central da mandioca na dieta e a prevalência de solos podzólicos arenosos³ contribuem para minimizar a vantagem comparativa da terra preta (*Ivi Pixuna*). Em outras regiões, fatores político-econômicos, como o transporte patrocinado pelo governo para culturas específicas (nesse caso, aquelas melhor adaptadas aos Latossolos), têm influenciado a avaliação de solos para a agricultura (German, 2001).

A preferência por terra preta é expressa geralmente em termos da sua adequação para uma maior diversidade de culturas. As “culturas da terra preta” variam entre regiões e incluem hortaliças (German, 2001; Smith, 1980), guaraná, árvores frutíferas, cacau (Smith, 1980), milho (Balée 1989; German 2001), feijão, abóbora (German, 2001; Woods & McCann, 1999), batata doce, melão, tabaco (Woods & McCann, 1999) e banana (Mazurek, com. pess.; Smith, 1980). Embora seja notável a diversidade de culturas adaptadas à terra preta (o Latossolo sendo inadequado para muitas delas), a superioridade dos rendimentos na terra preta não deve ser interpretada como absoluta.

Pelo menos em algumas regiões, enquanto a terra preta é considerada superior para algumas culturas, os Latossolos são preferidos para outras (German, 2003). Um agricultor até declarou, “Eu acho que a Terra Amarela tem mais valor que a Terra Preta”. Culturas melhor adaptadas ao Latossolo incluem a borracha, a mandioca, a banana, o abacaxi e o cará (German, 2003; Smith, 1980). Segundo os moradores de algumas regiões da Amazônia Central, as plantas frutíferas perenes não produzem bem na terra preta sem adubação. Nas palavras de um agricultor, “tem uma terra para legumes, e outra para

³ Embora a mandioca seja cultivada em terra preta em outras regiões, a vantagem dessa prática parece ser a habilidade de cultivar uma maior diversidade de culturas em uma mesma roça, e não o rendimento de mandioca em si. Muitos produtores das diversas regiões reivindicam que enquanto o crescimento na biomassa acima do solo for evidente na terra preta, os tubérculos da mandioca crescem lentamente na terra preta (German, 2002). Alguns produtores acreditam que esta tendência é exagerada nas terras pretas mais arenosas.

as frutas”. Vale notar que essas são as mesmas culturas selecionadas para a terra preta em outras regiões. Agricultores de terra preta de grande escala na Amazônia Central que possuem maior capital preferem cultivar árvores frutíferas que requerem um investimento inicial grande mas que dêem retorno a longo prazo (colheita prolongada, baixo requerimento de mão-de-obra). Enquanto algumas dessas culturas (cítricos, mamão) são consideradas pelos caboclos como “culturas de terra preta”, outras (banana) são conhecidas pelos pequenos agricultores vizinhos como espécies de baixo rendimento na terra preta. As práticas dos agricultores de grande escala são uma má indicação das vantagens pedoquímicas da terra preta, porém, devido ao seu uso intensivo de adubo químico.

As discrepâncias nas culturas preferidas na terra preta resultam, em parte, dos requerimentos de cultivares específicos. De acordo com os agricultores ao longo do Rio Urubú, por exemplo, a banana *pacovão* é o único tipo de banana com bom rendimento na terra preta⁴. No entanto, alguns agricultores alegam que a variabilidade em rendimento na terra preta depende da variabilidade da terra preta mesma:

Cada terra preta é diferente, uma da outra. Tem terra preta onde a mandioca dá muito pequena. Tem terra preta que produz um mamãoal que você *gosta* de ver. E nessa aqui, eu plantei um mamãoal e poucas plantas ficaram. Agricultor do Rio Urubu

Milho só dá na terra preta pura; não dá em qualquer terra preta. Agricultor do Baixo Rio Negro

Enquanto as diferenças pedoquímicas podem refletir processos distintos de pedogênese (Woods & McCann, 1999), também são associadas à textura de solo e à história de uso. Muitos agricultores consideram que a terra preta com maior conteúdo de argila é de melhor qualidade que a terra preta arenosa. Essa percepção é lógica, dado a variabilidade de texturas que caracteriza a terra preta (Smith, 1980) e a capacidade limitada de solos arenosos em reter nutrientes e umidade. Os agricultores também observam a baixa capacidade da terra arenosa em reter adubo químico: “É terra arenosa e não guarda adubo. Você pode colocar mais [adubo], mas não assegura o plantio.” A influência da história de uso nas propriedades de solo será discutida mais adiante.

É importante contextualizar as práticas de manejo com o conhecimento etnocientífico da fertilidade de solo. A distinção principal é a dicotomia “crua-queimada” mencionada acima. As explicações etnocientíficas são logicamente consistentes com o conhecimento empírico em termos dos resultados e não dos processos contribuintes (German, 2003). Enquanto os cientistas de solo compreendem a queima como um processo que libera nutrientes da biomassa viva para torná-los disponíveis para a planta, os moradores locais a compreendem como um processo pelo qual o solo é aquecido (um estado inerentemente fértil e transitório). Portanto, a fertilidade do solo é considerada proporcional à intensidade da queima. Nas palavras de um agricultor, “A terra tem que ser purificada. A mata roçada só ajuda a dar força para queimar a terra embaixo”. Quando a roça é “abandonada”, a terra perde a sua condição queimada: “A mandioca não dá mais; a terra é muito crua”.

Não é surpreendente, então, que cada uma dessas percepções (científica, etnocientífica) seja igualmente funcional em termos da interação entre as qualidades pedológicas percebidas e práticas específicas de manejo. Quanto mais fértil o solo, menor a biomassa requerida para restaurar a fertilidade mediante a queima; quanto mais queimada a terra, menor o aquecimento requerido mediante a queima para restaurar a “força” da terra. Enquanto esse marco conceitual permite compreender a dinâmica de cultivo e encapoeiramento na terra preta, também contradiz alguns outros aspectos do conhecimento local. A maior fertilidade inerente da terra preta, por exemplo, induz os agricultores da Amazônia Central a limpar áreas de capoeira que sejam, em média, 2,5 vezes mais jovens que nos Latossolos (German, 2003). Como se demonstrou acima, os próprios agricultores sustentam que a queima é menos necessária na terra preta que nos Latossolos. Contudo, uma crença profundamente arraigada de que o solo sob condições naturais (floresta) seja, por definição, “cru”, e de

⁴ De acordo com Eduardo Neves (com. pess.), esta variedade de banana é também um indicador da ocupação Ameríndia no Baixo Amazonas, fornecendo uma correlação interessante com os dados etnobotânicos.

que o estado queimado do solo seja uma característica inerentemente transitória, faz com que a terra preta não se encaixe facilmente dentro da cognição local do meio ambiente. Essas contradições são evidentes no baixo grau de consenso sobre certas características da terra preta (crua vs. queimada, da natureza vs. de origem humana, etc.) (Fig. 1). Enquanto todos concordam que a terra comum (o Latossolo) é crua e que a terra preta é “adubada” no estado natural e produz no estado “cru” (sem ser queimada), há um baixo nível de consenso sobre o estado cru vs. queimado da terra preta (German, 2001). Essa discrepância de cognição origina-se da idéia de que o solo sob floresta madura seja inerentemente “cru”, assumindo uma característica de queimada apenas pela intervenção humana. Essa contradição pode ser resolvida se a origem antropogênica da terra preta for aceita uma idéia pouco popular em função da profunda contradição que representa para a cognição tradicional (ou seja, que a queima é um estado transitório).

A preferência por sustentar contradições dentro dos marcos conceituais locais em vez de aceitar a origem antropogênica da terra preta é, em si, interessante. A forte resistência à idéia de terra antropogênica pode ser interpretada como evidência etnográfica para o consenso emergente de que padrões contemporâneos de ocupação e uso de terra não são os responsáveis pelas mudanças duradouras produzidas no solo no passado (Denevan, 1998; Pabst, 1993; Woods & McCann, 1999). Isso apóia a idéia de que ocorreu um rompimento profundo nos padrões de assentamento e uso de terra no começo da época histórica, fazendo a analogia etnográfica mais tênue ainda como ferramenta para interpretar o passado. Essa conclusão parece negar exemplos documentados de solos modificados por práticas contemporâneas (Hecht & Posey, 1989; Woods & McCann, 1999). Portanto, a diferença entre mudanças relativamente transitórias e as mudanças mais persistentes exibidas pela terra preta é crítica. O fato de os entrevistados de German (2001) em várias regiões de água preta fazerem esforços para modificar o solo mediante a adição de carvão e resíduos orgânicos, queimas na roça entre plantas com fogo moderado e outras práticas, sem conseguir gerar mudanças duradouras no solo, não deve ser subestimado.

Uma observação final trata do conhecimento local de uma queima efetiva. É importante notar que os agricultores consideram a temperatura da queima, e não a duração, a variável crítica. De acordo com alguns agricultores, uma queima de larga duração pode ter um impacto negativo no solo. “Fogo demais faz mal. O fogo tem que passar logo, ou a terra queima demais”. Essa observação é interessante, dado o debate recente sobre o carbono pirogênico, um dos componentes principais da terra preta, e o seu papel em sustentar os níveis elevados de matéria orgânica e de nutrientes disponíveis (Glaser et al., 2003). A combustão completa teria o efeito de minimizar a contribuição de carvão preto no solo.

A sustentabilidade das propriedades e práticas de manejo da Terra Preta

Asserções de sustentabilidade e de persistência

Discussões sobre a persistência da agricultura em terra preta e a sustentabilidade das diversas práticas de manejo são difíceis devido à falta de experimentos de campo ao longo prazo, à falta de implementação de novas práticas de manejo, às dificuldades associadas à medição de sustentabilidade e ao provável desaparecimento de formas tradicionais de uso da terra que poderiam ter sustentado as propriedades únicas da terra preta. Não obstante, a literatura enfatiza a persistência marcante da terra preta e da terra mulata mesmo quando submetidas ao uso intensivo e sem adições de matéria orgânica (Glaser et al., 2003; Woods & McCann, 1999; Woods, McCann & Meyer, 2000). Woods & McCann (1999) até sugerem que com atividade biótica e capacidade de retenção de nutrientes adequados, outras adições podem não ser necessárias para manter uma fertilidade adequada quando a terra preta é submetida a um manejo adequado.

Asserções etnográficas apóiam a idéia de que a terra preta é resistente à degradação. Agricultores do Baixo Amazonas acreditam que os nutrientes da terra preta nunca vão acabar (D. Kern, comunicação pessoal), enquanto agricultores morando perto de Santarém alegam que a terra preta regenera-se de

forma espontânea (McCann, 1999a; Woods & McCann, 1999). Além disso, agricultores de várias regiões dizem que quando a terra preta “cansa”, sempre recupera mais rápido por meio do encapoeiramento quando comparada com solos adjacentes (German, 2001; Woods & McCann, 1999).

Algumas linhas adicionais de evidência são empregadas na literatura para corroborar a marcante persistência da terra preta. Estudos paleobotânicos feitos por Mora et al. (1991) oferecem evidência direta do cultivo e o assentamento semicontínuo por um período de aproximadamente 800 anos num sítio da Amazônia Colombiana, feito possível pelo transporte de limo aluvial para a terra firme. Enquanto a persistência desses assentamentos for marcante, a baixa quantidade e qualidade de sólidos em suspensão em rios de água preta (Sioli, 1984) sugere que processos distintos são responsáveis pela formação, manutenção e uso de terra preta nesses ecossistemas. Outra linha de evidência é a tendência dos agricultores de abandonar as roças devido ao crescimento excessivo de ervas daninhas e não a deterioração da fertilidade do solo (Major et al., 2003; Woods & McCann, 1999). Na pesquisa de German (2001) em sítios da Amazônia Central, embora o controle de ervas daninhas represente uma carga significativa na terra preta, a maioria dos agricultores alega que abandonam os seus roçados devido à deterioração na fertilidade do solo (Tabela 4).

Tabela 4. Motivos Principais pelo Abandono de Roçados na Amazônia Central^a (% agricultores).

| Motivo | Terra Preta | Terra Amarela/ Vermelha | Terra Barrenta ^b | Terra Arenosa |
|-------------------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| Baixa fertilidade | 50 | 85 | 100 | 100 |
| Ervas daninhas | 17 | 5 | 0 | 0 |
| Outro (doença, estação, etc.) | 33 | 10 | 0 | 0 |

^aMétodos para a colheita de dados incluem: entrevistas semi-estruturadas para identificar os motivos para o abandono de roçados, e um questionário para identificar as práticas de manejo de diversos indivíduos.

^bEnquanto a terra comum (Latossolos) também é argilosa, essa classe de solos é percebida como mais balanceada em termos do conteúdo de areia e argila em relação à terra barrenta.

Contudo, há evidências etnociências de que a terra preta exibe, de fato, melhor retenção de nutrientes que o Latossolo, além de recuperar-se mais rápido depois de “cansar”. German (2001) utiliza o “*domain analysis*” para entender a cognição etnopedológica de cinco classes de solo na Amazônia Central. Numa gráfica multidimensional, ela demonstra que a terra preta é associada com maior retenção de nutrientes (“guarda a força depois da queima”, “economiza adubo”), maior sustentabilidade (“sempre recupera mediante a capoeira”), e menor dependência na biomassa florestal (“a terra crua produz”). Conceitos etnopedológicos assim refletem os conceitos científicos de capacidade de troca de cátions, sustentabilidade e fertilidade (Lehmann et al., 2003).

Vale a pena olhar esses dados em mais detalhe devido à sua relevância para os debates atuais sobre a maior produtividade e sustentabilidade da terra preta, e os benefícios que resultariam da recriação desses solos (Sombroek, 2002). Reduzindo os 61 parâmetros etnopedológicos identificados por German (2001) a um grupo de parâmetros relacionados à qualidade e sustentabilidade da terra, é possível ilustrar em maior detalhe os benefícios de distintas classes de solo percebidos pelos caboclos da Amazônia Central. O resultado dessa análise (Fig. 3) é um gráfico do espaço multidimensional que modela as similaridades percebidas entre as classes de solo mais comuns. A localização relativa de diversas classes de solo ilustra os parâmetros mais responsáveis pela distinção entre a terra preta e outras classes de solo (aqueles representados pelo eixo 1), e os parâmetros compartilhados pela terra preta e outros solos da região (Eixo 3 e Eixo 2, não demonstrado na Figura).

A interpretação dessa figura pode ser feita mediante os valores r na Tabela 5. Cada eixo é uma melhor representação dos parâmetros com um valor r alto (+ ou -), e uma má representação dos parâmetros r baixos. A denotação “+” ou “-”, por sua vez, indica se a relação entre o parâmetro e as classes de solo melhor representadas pelo eixo é direta ou inversa. Vemos que a terra preta, que difere mais de outras classes de solo no eixo 1, é única em termos da sua associação com terra naturalmente “adubada,” terra que se recupera rápido depois de “enfraquecer,” além de economizar adubo (nesse caso, orgânico). A noção de que a terra preta recupera-se rápido depois do uso e economiza adubo é consistente com a declaração de um agricultor que cultivou um total de 4 hectares de terra preta num período de 10 anos: “Eu tivesse derrubado *muita* floresta [no Latossolo], mais eu fico me mantendo naquela terra preta”, ele sustenta.

Tabela 5. Valores R para os 3 Eixos do Plot Multidimensional

| Parâmetro | Eixo | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Forte quando trabalhado | -0,16 | 0,51 | 0,89 |
| Fraca quando trabalhado | -0,24 | -0,37 | -0,98 |
| Crua | -0,70 | -0,58 | -0,77 |
| Queimada | 0,70 | 0,58 | 0,77 |
| Adubada | 0,98 | 0,01 | 0,09 |
| Mantém a força depois da queima | 0,48 | 0,55 | 0,93 |
| Recupera mediante a capoeira | 0,55 | 0,18 | 0,94 |
| Sempre produz quando fica fraca | 0,35 | -0,76 | -0,63 |
| Recupera logo depois de enfraquecer | 0,81 | 0,40 | 0,61 |
| Cansa logo | -0,26 | 0,00 | -0,94 |
| Economiza adubo | 0,84 | 0,41 | 0,67 |

Os métodos incluíram entrevistas semi-estruturadas para identificar as diferenças mais evidentes entre diversas classes de solo; a extração de parâmetros etnopedológicos; entrevistas estruturadas para determinar até que ponto cada solo é caracterizado pelos parâmetros identificados; e análise multi-dimensional da matriz.

Enquanto a Figura 4 não apresenta o Eixo 2 (onde há uma associação fraca com as cinco classes de solo), a Terra Roxa e a Terra Vermelha (Latossolo) mostram uma forte associação com o Eixo 3. A Terra Vermelha é a mais distinta das outras classes de solo no sentido de ser “fraca quando trabalhada” e de “cansar” logo quando submetida à agricultura. A terra preta é mais favorável que outras classes de solo em relação a esses parâmetros, com a exceção do solo que os agricultores do Rio Urubu chamam de *terra roxa*. Esta é considerada superior à terra preta não somente em seu poder de recuperação completa mediante o encapoeiramento, como também em sua capacidade em reter nutrientes e a sua “força” (fertilidade). Essa distinção é muito relevante para os debates atuais sobre a origem e a sustentabilidade da terra preta, devido à tendência dos agricultores a associarem a área adjacente de uma mancha de terra preta à terra roxa. Contudo, essa terminologia é muito restrita e variável no seu uso para poder fazer alguma associação definitiva entre a terra roxa e a “terra mulata” documentada por Woods & McCann (1999) ou a “terra roxa estruturada” encontrada em outras partes da Amazônia (Salgado Vieira, 1988).

Asserções de degradação do solo

Enquanto a maior parte da literatura enfatiza a notável produtividade e sustentabilidade da terra preta, a degradação das suas propriedades é evidente quando submetida a certas práticas de manejo. Sombroek et al. (2002) cita um colega que notou que enquanto a ocupação por agricultores de pequena escala pode ser mantida por vários anos em sítios sem o uso de adubo químico ou perda significativa de

fertilidade do solo, uma ocupação prolongada demonstra sinais definitivos de perda da capacidade produtiva. German (2003) também documenta a evidência de degradação e perda de fertilidade da terra preta quando submetida ao uso convencional (industrializado) e à agricultura de pequena escala. A mudança mais marcante é o embranquecimento da camada superior do solo devido à exposição e aração da terra, atividades que intensificam a lixiviação e a decomposição do carbono orgânico. Um agricultor com muitos anos de experiência no uso da terra preta no Baixo Rio Negro diz que mediante o uso, “a terra fica fofa. Quer dizer que a terra cansa, começa a ficar seca”. Uma observação similar foi documentada por Smith (1980), que notou que os primeiros centímetros da superfície da terra preta são mais arenosos, atribuindo essa mudança à eluviação mecânica da argila quando exposta de forma característica em aldeias. Agricultores caboclos da Amazônia Central acreditam que esta perda de argila na superfície do solo ocorre, durante a vida de um roçado, tanto na terra comum como na terra preta.

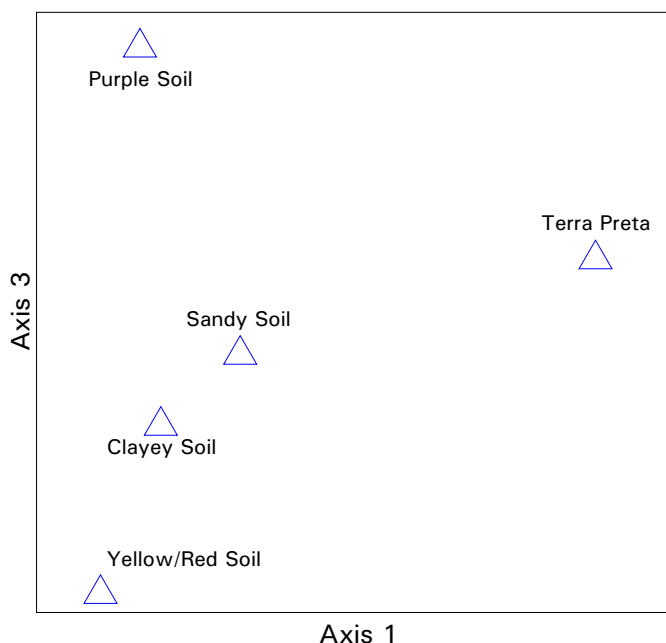


Fig. 4. Percepções etnocientíficas da fertilidade e sustentabilidade de cinco classes de solo no Baixo Rio Negro e Rio Urubu, Amazônia Central

Se as práticas agrícolas atuais estão, de fato, levando à perda gradual de argila e/ou carbono, as implicações tanto práticas como teóricas seriam importantes. Primeiro, o efeito na retenção de nutrientes seria significativo, devido à mais alta capacidade de troca de cátions da matéria orgânica em relação à matriz mineral nos solos altamente lixiviados da Amazônia Central (Sombroek, 1966) e à relação entre essas propriedades e a retenção de nutrientes e sustentabilidade. Segundo, a perda de argila teria implicações para a mobilização de fósforo, devido à relação entre a imobilização do P e os óxidos de ferro e alumínio na argila. A relação entre o conteúdo de P, a textura do solo e o uso tem sido documentada por vários autores. Observações feitas por Woods & McCann (1999), de que a textura do solo é um determinante principal da profundidade da terra preta, sugerem que condições mais arenosas levariam ao movimento mais rápido de nutrientes para baixo. As quantidades menores de P em terras pretas mais arenosas (Smith, 1980) apesar da preferência cultural para sítios de residência com boa drenagem parecem corroborar essa tendência. Evidência do movimento descendente de P em função do uso (German, 2001) também sugere processos de degradação. Essas observações sugerem que o embraquecimento da matriz do solo pode limitar a sustentabilidade ao longo prazo na ausência de contra-processos de formação antrópica. Essas tendências também são interessantes do ponto de vista

teórico. Se for verdade que as práticas contemporâneas de manejo por agricultores de pequena e grande escala estão contribuindo para a degradação do solo (mesmo que gradualmente), será necessário pesquisar as práticas alternativas requeridas para manter as propriedades únicas da terra preta. Mesmo que os agricultores contemporâneos tenham começado a experimentar com o manejo de resíduos, compostagem e adições de esterco de gado, além de outras práticas de manejo orientadas de modo a impedir a degradação do solo, essas práticas são demais incipientes para se tirar conclusões etnoscientíficas sobre o seu efeito. Essa questão deve ser considerada em qualquer esforço de recriar a terra preta, devido à necessidade de manter os solos uma vez formados e à utilidade de uma perspectiva de manejo na questão dos processos de formação antrópica.

Um agricultor de Rio Preto da Eva que cuidava de um sítio mecanizado para um proprietário ausente alegava que a terra preta perde a sua vantagem relativa depois de muitos anos de cultivo contínuo, em particular para sítios mais arenosos. Ele sustenta que, em terras pretas degradadas, o aumento na aplicação de adubo químico, eventualmente, tem pouco efeito no rendimento: “A terra arenosa não retém o adubo. Você aplica mais adubo, e não assegura o plantio”. Depois de vários esforços com o cultivo de verduras em sítios do Baixo Rio Negro, um agricultor de pequena escala também chegou a acreditar que o seu Latossolo produz muito melhor do que a terra preta. Ele explica, “essa terra preta já tem sido muito trabalhada”.

É importante considerar os padrões de uso de terra, em regiões onde a degradação da terra preta tem sido observada, para identificar associações entre o manejo e a manutenção das propriedades químicas e físicas do solo. No Baixo Rio Negro alguns moradores interessados em maximizar o rendimento de culturas de mercado têm praticado um uso intensivo da terra preta. Nas comunidades de Terra Preta e Marajá, na margem direta do Baixo Rio Negro, a história contada sugere um novo padrão de ocupação da terra começado na década de 1970 quando agricultores do Rio Solimões começaram a visitar os sítios de terra preta no Rio Negro para “comer de graça”. Depois de inicialmente aperfeiçoarem as técnicas de cultivo para o mercado nas suas aldeias de origem, começaram a procurar terra preta não sendo cultivada para explorar:

Quando os primeiros moradores chegaram aqui, sempre trabalhavam sem a química. Quando o pessoal do Solimões chegou, tudo isso mudou. Compravam bombas para puxar água para a terra, trabalhavam com veneno. Quando foram embora, foi porque a terra não produzia mais. Agricultor do Baixo Rio Negro

Esses padrões de uso intensivo resultam em parte da tenência da terra: aqueles que chegaram de fora para explorar a terra preta dos moradores locais não tinham motivo para investir na manutenção da fertilidade do solo ao longo prazo. Alguns moradores locais atribuem a degradação da terra ao uso de técnicas da agricultura industrial:

O grande agricultor utiliza o trator, fofa a terra e utiliza adubo orgânico ou químico, qualquer um. Se ele faz isso na terra preta, ele vai estragar ela. Vai acabar com a proteína dela. Agricultor do Rio Urubu

Contudo, os agricultores de pequena escala utilizando técnicas mais tradicionais também podem causar uma marcante degradação do solo. A primeira família a ocupar um sítio de terra preta no Rio Urubu desde a saída dos moradores indígenas da área (cerca de 22 anos antes da entrevista) testemunhou um declive absoluto na produtividade depois de apenas seis anos de cultivo contínuo. Embora seja devido ao manejo inadequado, essa degradação foi muito rápida para uma região onde a terra preta era considerada muito superior aos Latossolos quando foram abertos pela primeira vez para a agricultura. “Não dá mais nada”, declarou um vizinho para expressar o elevado grau de degradação desse sítio, “seis anos *direto* plantando mandioca, sem deixar ela cansar. E a mandioca cansa a terra. [A terra] falhou. Não é assim que se faz. Tem que ir devagar”. Dados dos ocupantes contemporâneos trazem evidência importante sobre o comportamento da terra preta quando submetida a práticas de uso

diferentes e contribuem para debates sobre a possibilidade de recriá-la e de manejá-la de forma sustentável uma vez formada.

Manejo para a produção sustentável

As práticas tradicionais de manejo do solo para a sustentabilidade incluem muito mais do que a queima. Entre elas, cabe notar a adição de diversos tipos de cinza, resíduos de plantas e ninhos de formigas e cupins; a rotação de culturas; o cultivo em anéis concêntricos e o “*multicropping*”. As características microbiológicas excepcionais da Terra Preta de Índio e Terra Mulata podem ter sido catalizadas ou sustentadas pela adição de quantidades elevadas de micronutrientes associados a essas práticas.

O conhecimento local do manejo de terra preta tanto para maximizar o rendimento como para a sustentabilidade é muito variável. Essa variabilidade acompanha a diversidade de estratégias de uso da terra preta citada por Hiraoka (2003). Enquanto os locais de terra preta submetidos ao uso mais intensivo têm sofrido um maior nível de degradação, agricultores ao longo do contínuo de agricultura de subsistência à agricultura de mercado tem sentido a perda na capacidade produtiva da terra ao longo do tempo. É curioso que apesar do longo período em que a terra preta tem se transformado numa característica integral de paisagens Amazônicas, poucos agricultores têm desenvolvido estratégias complexas de manejo para contrabalancear os processos de deterioração. É de alguns desses indivíduos que a seguinte discussão emana.

A primeira observação, feita por diversos agricultores de pequeno e grande escala, é que a adição de matéria orgânica é essencial para sustentar a produção na terra preta:

O adubo da terra são as folhas. Se você limpa as folhas e jogar elas fora da roça, está jogando a força do plantio. Tem que ter folhas para cobrir a terra para dar força ao plantio. Morador do Baixo Rio Negro

O que cansa a terra não é o plantio, sabe. É que a pessoa joga o lixo e não deixa ela crescer de novo. Outro Morador do Baixo Rio Negro

Esse último comentário é interessante, já que faz referência ao manejo de resíduos e do encapoeiramento (deixando as plantas voluntárias crescerem novamente), dois aspectos considerados essenciais, entre os agricultores tradicionais, à manutenção da fertilidade do solo. Os Kayapó mantêm e adicionam a matéria orgânica, conservando os resíduos na forma de “cobertura morta” e também com a cinza após a queima.

Para adquirir maiores informações sobre as percepções locais das melhores práticas de manejo em sítios de terra preta da Amazônia Central, pediu-se que os agricultores identificassem as estratégias mais efetivas para o manejo de resíduos (German, 2001). Essas questões foram classificadas conforme o objetivo final, seja para maximizar o rendimento (parte superior da Tabela 6), seja para manter a fertilidade ou “força” da terra (parte inferior da Tabela). Para maximizar o rendimento, as estratégias de manejo não diferem muito entre a terra preta e o Latossolo. Contudo, quando o objetivo era a sustentabilidade, a porcentagem de agricultores que enfatizaram não queimar os resíduos chegou a 100% para a terra preta e apenas 40% para o Latossolo. O declive marcado entre a parte superior e inferior da tabela na porcentagem de agricultores sugere que a queima é vista como uma atividade que melhora o rendimento mais compromete a sustentabilidade na terra preta. Essa observação parece contradizer o achado recente da importância do carbono pirogênico na formação e manutenção da terra preta, mas seguramente a questão não é *se* queimar, mas *como*.

Tabela 6. Estratégias para o manejo de resíduos para diversos objetivos entre os agricultores de Terra Preta na Amazônia Central^a.

| Opção de Manejo | Terra Preta (% respostas) | Terra Comum (% respostas) |
|---|------------------------------|------------------------------|
| <i>Estratégias Citadas para Maximizar o Rendimento</i> | | |
| Queimar os resíduos | 50 | 40 |
| Limpar & deixar os resíduos | 42 | 50 |
| Retirar os resíduos da roça | 8 | 10 |
| <i>Estratégias Citadas para “Manter a Força” da Terra</i> | | |
| Queimar os resíduos | 8 | 20 |
| Limpar & deixar os resíduos | 84 | 70 |
| Retirar os resíduos da roça | 8 | 10 |

^aOs métodos para o levantamento de dados incluíram entrevistas semi-estruturadas para identificar estratégias de manejo de resíduo, e um questionário estruturado para identificar as diferenças de manejo entre os agricultores (n=12).

Os agricultores com extensa experiência na mecanização da terra preta chegaram a conclusões similares sobre a matéria orgânica. As observações do morador anterior do Sítio Açutuba no Baixo Rio Negro, Kuni Odeta, sugerem que uma das melhores formas de contrabalancear a perda de fertilidade e o embranquecimento da matriz do solo é incorporar adubo orgânico. Depois de muitos anos dependendo de adubo químico, sua família começou um esforço laborioso para fazer compostagem e reabilitar o solo. Essa ênfase na matéria orgânica é lógica para a manutenção da fertilidade em qualquer solo. Porém, a forte contribuição da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions na terra preta (Sombroek et al., 2002; Woods & McCann, 1999) sugere que os benefícios de adicionar matéria orgânica e o custo de não fazê-lo podem ser maiores na terra preta que em outras classes de solo. Evidência recente que o adubo químico lixivia com facilidade na terra preta (Lehmann, 2003) demonstra a importância da matéria orgânica como fonte de nutrientes mesmo para a agricultura intensiva. A importância das práticas de manejo de fertilidade do solo dos Kayapó e outros grupos Amazônicos, incluindo adição de matéria orgânica e o uso de fogo moderado ao longo do ciclo de cultivo, não deve ser subestimada.

Os agricultores caboclos também identificam a rotação de culturas como uma estratégia importante para estender a vida produtiva de um roçado e diminuir os processos de degradação. Nas palavras de um morador, “têm pessoas que acham que a terra preta fica fraca, mas realmente a terra é fraca para alguns plantios e forte para outros.” No Rio Urubu, os moradores atestam que a mandioca deve ser cultivada por apenas um ano antes de iniciar a rotação de culturas. A causa disso seja a maior exposição do solo, a extração de nutrientes do solo ou outro fator é indeterminada. Essa observação é, porém, muito difundida, criando a percepção de que a mandioca cansa a terra mais do que outras culturas:

O primeiro plantio de mandioca dá bem [na *Terra Preta*], mas o segundo não dá mais. A mandioca cansa a terra mais do que o legume. Morador do Baixo Rio Negro

Na terra preta, você pode plantar a mandioca por um ano, e depois deixar ela cansar... Foi em duas áreas onde plantamos mandioca por dois anos seguidos, e já vejo a diferença. É pouca, mas existe. No próximo ano não vou plantar mandioca. Depois de plantar milho e feijão, é possível plantar mandioca de novo. Morador do Rio Urubu

É interessante que a cultura considerada menos exigente em nutrientes é vista pelos moradores locais como aquela que causa um impacto negativo no solo. Os agricultores explicam que é por isso que a mandioca requer um maior período de encapoeiramento que as outras culturas, tanto na terra preta como no Latossolo. Por sua vez, o milho, uma das culturas mais exigentes em nutrientes, é visto como uma cultura de impacto positivo na terra preta. Uma família do Rio Urubu notou que enquanto algumas culturas falham na terra preta, quando cultivadas seguidamente, o milho e o feijão não falham. Essas culturas são priorizadas, portanto, na rotação com a mandioca.

Pesquisa adicional nessa área é necessária. Caso fosse verdade que o impacto negativo da mandioca é resultado de efeitos alelopáticos, a perda de matéria orgânica do solo ou outras mudanças introduzidas sob cultivo prolongado (e maior exposição do solo) e não do maior consumo de nutrientes as implicações seriam profundas para as nossas interpretações da função da terra preta na transformação de assentamentos móveis em sedentários na época pré-histórica e para o desenho de estratégias de uso sustentável do recurso na época atual. Sistemas agroflorestais complexos de copa fechada e jardins perenes como aqueles descritos por Denevan (1998) podem ser as estratégias para uma agricultura mais viável na terra preta. O alto grau de conservação das propriedades únicas de terra preta nas paisagens Amazônicas contemporâneas sugere que não somos os primeiros a fazer essa descoberta.

Conclusões

Os benefícios da pesquisa etnocientífica da terra preta são muitos. Dados etnoecológicos complementam dados derivados da pesquisa biofísica em vários sentidos (DeWalt, 1994). De mais relevância à pesquisa da terra preta é a perspectiva temporal estendida fornecida pelos usuários dessas áreas (por exemplo, do impacto pedológico de práticas específicas através do tempo) e a maior nuance nos benefícios e limitações da terra preta desde a perspectiva dos beneficiários atuais. As perspectivas dos moradores da terra preta de longo prazo são pouco estudadas ainda, mas podem ser exploradas no esforço de construir uma compreensão mais completa da formação, função e promessa da terra preta.

Diversidade Vegetal em Solos Antrópicos da Amazônia

Charles R. Clement
Marina Pinheiro Klüppel
Laura A. German
Samuel Soares de Almeida
Julie Major
Luiz Eduardo O. e C. de Aragão
Juan Carlos Guix
Eduardo Lleras
Antoinette M. G. A. Winkler Prins
Susanna B. Hecht
Joseph M. McCann

As terras antrópicas da Amazônia (Terra Preta de Índio TPI e Terra Mulata TM) são especialmente propícias à diversidade vegetal, pois oferecem substratos ricos em nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Lehmann et al., 2003a). Se a TPI foi criada intencionalmente ou não (Erickson, 2003; German, 2003b; Woods & McCann, 1999; 2001), sempre serviu como laboratório genético e agrônomico, pois é própria dos pomares caseiros¹ onde a experimentação indígena e cabocla é mais evidente (Clement et al., 2003; Hiraoka et al., 2003). Da mesma forma, se a TM foi criada intencionalmente, o foi como consequência das práticas hortícolas dos povos nativos (Denevan, 2001; Hecht, 2003). Atualmente esses solos podem ter um papel importante como reservatório genético das plantas nativas da Amazônia e das exóticas aclimatizadas (Clement et al., 2003), bem como ainda manter sua função de laboratório (Hiraoka et al., 2003; Miller & Nair, 2006). Este capítulo sintetiza os avanços recentes que nos permitiram saber mais sobre a diversidade vegetal em solos antrópicos e seus efeitos na dinâmica e produtividade da vegetação sobre TPI, e propõe alguns rumos para novas pesquisas; a informação contida aqui é um complemento dos capítulos de Lehmann et al. (2003b).

Numerosas classes de plantas úteis (raízes, cereais, frutas, hortaliças, medicinais) em diferentes categorias de domesticação (incidentalmente co-evoluídas [ervas daninhas], incipientes, semi-domesticadas, domesticadas) parecem ser melhor adaptadas aos solos antrópicos do que aos solos adjacentes (Clement et al., 2003; German, 2003a; Hiraoka et al., 2003; Major et al., 2005a; McCann, 1999b; 2004). Isto é visível ao comparar as classes e categorias de plantas mais comuns em pomares caseiros rurais e urbanos e em roças agrícolas em solos antrópicos versus solos adjacentes. Algumas das espécies são especialmente resistentes ao fogo, provavelmente porque este recurso foi muito importante nas práticas agrícolas que resultaram nas TM (Hecht, 2003; German, Hecht, Ruivo, este volume). A sequência das plantas que invadem e as que desaparecem de solos antrópicos durante seu manejo e após seu abandono é visível ao comparar roças novas e velhas, e florestas secundárias novas e velhas nestes solos e nos adjacentes (German, 2003a), possibilitando avaliar a diversidade vegetal e a dinâmica do processo sucessório entre os diferentes sítios. Tais assuntos são importantes para entender o uso atual e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas nesses solos antrópicos (German, 2003a; Hecht, 2003; Major et al., 2003; McCann, 1999b; McCann et al., 2001).

Este capítulo pretende usar uma síntese da literatura botânica e etnobotânica recente em solos de origem antropogênica para levantar perguntas sobre as direções mais importantes para a pesquisa botânica, etnobotânica e ecológica nesses solos ao longo da próxima década. É possível verificar um efeito reservatório nestes solos em termos dos recursos genéticos amazônicos e exóticos? O que podemos concluir sobre os laboratórios genéticos e agrônomicos modernos que estes solos representam quando manejados por caboclos e colonos? Quais são os efeitos dos mercados locais e

¹Escolhemos o termo 'pomar caseiro' para representar o conjunto de jardim caseiro (normalmente presente na frente da casa) ou quintal (atrás ou às vezes ao lado, geralmente dominado por fruteiras), que em inglês, corresponde a 'home garden'.

extra-locais no futuro destes agroecossistemas? O que podemos concluir sobre possíveis padrões botânico-geográficos inter-regionais (e.g., Rio Negro vs Rio Solimões vs Rio Amazonas vs Rio Tapajós)? Como esses estudos deverão interagir com o resto da equipe multi-disciplinar que está trabalhando com esses solos na Amazônia e em outras partes do mundo?

Etnobotânica dos Solos Antrópicos

A agricultura itinerante é atualmente o sistema agrícola mais comum na Amazônia (Denevan, 2001), mas diversos sistemas permanentes ou semipermanentes em áreas de terra firme também podem ser encontrados junto a alguns grupos indígenas (Hecht & Posey, 1989; Denevan, 2001; Hecht, 2003) e comunidades agrícolas tradicionais e modernas (Hiraoka et al., 2003), especialmente quando estas comunidades ocupam áreas com solos antrópicos. Em áreas com TPI é possível praticar uma agricultura intensiva em lotes permanentes ou semipermanentes, com o uso de “tecnologias suaves” (termo definido por Hecht & Posey, 1989) como fertilizantes orgânicos, aditivos inorgânicos, cobertura vegetal do solo, fogo controlado, e controle de pragas e invasores (Woods & McCann, 1999; 2001; McCann et al., 2001; WinklerPrins, 2002; German, 2003a, 2003b, 2004; Hecht, 2003), ou com tecnologias modernas (Hiraoka et al., 2003). Sendo o uso da terra influenciado não só por características bio-físicas do meio, mas também pelas características sócio-culturais dos grupos humanos que a ocupam (Kumar & Nair, 2004), os sistemas agrícolas encontrados em TPI são extremamente variados, indo de monoculturas intensivas de espécies de alta demanda no mercado, como hortaliças e fruteiras (German, 2002; Hiraoka et al., 2003), a pomares caseiros extremamente diversos (WinklerPrins, 2002; Major et al., 2005a), passando por associações de duas ou mais espécies (German, 2003b; Major et al., 2005a).

Pomares caseiros

Os pomares caseiros são sistemas agrícolas nos quais árvores, arbustos e ervas de interesse são cultivados próximos às casas, fornecendo alimentos, renda e uma série de produtos e benefícios para os agricultores que os mantêm (Kumar & Nair, 2004). Na Amazônia, os pomares são uma importante forma de agricultura tradicional, pois podem produzir continuamente durante dezenas de anos (Van Leeuwen & Gomes, 1995). Diversos estudos recentes examinaram a etnobotânica dos pomares caseiros em TPI.

German (2001) inventariou pomares caseiros em três regiões de água preta: o Baixo Rio Negro (perto de Novo Airão) e o Baixo Rio Urubu, Santa Isabel do Rio Negro e o Rio Canoas, um afluente do Alto Rio Uatumã. O Baixo Rio Negro e Baixo Rio Urubu são agrupados devido às distâncias similares ao mercado de Manaus, à prática de agricultura em TPI sem o uso de adubos e por conter comunidades caboclas, enquanto as outras áreas foram ocupadas principalmente por comunidades indígenas. Por coincidência, no Baixo Rio Negro e Baixo Rio Urubu os solos mais comuns são Latossolos Amarelos, enquanto em Santa Isabel são Podzólicos e no Rio Canoas são Argissolos. Com exceção da ausência de plantas anuais nos pomares mais tradicionais de Santa Isabel, poucas tendências são evidentes neste inventário (Tabela 1). Uma tendência interessante é que nos pomares de Santa Isabel, as espécies perenes nativas são plantadas em solos não antrópicos enquanto que as perenes exóticas são plantadas em TPI. Essa associação parece lógica numa região em que os solos não antrópicos são principalmente podzólicos inférteis, pois as fruteiras nativas podem ser melhor adaptadas a essas condições que seriam limitantes para espécies exóticas, como sugerido por Clement et al. (2003). Essa tendência precisa ser examinada em outras áreas, pois não foi evidente no Baixo Rio Negro nem no Rio Canoas.

German (2001) correlacionou a porcentagem de pomares em cada região com cada espécie presente para poder contrastar as composições dos pomares caseiros (Tabela 2). Os coeficientes são uma medida de similaridade dos pomares espécie-por-espécie em cada região e classe de solo, e complementam a análise de similaridade baseada em classe botânica (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de espécies em cada classe botânica e número médio de espécies em pomares caseiros em três regiões de água preta (por região e tipo de solo) (German, 2001).

| Classe Botânica | Terra Preta de Índio | | | Solo não-antrópico | | |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------------|
| | R. Negro R. Urubu | Santa Isabel | Rio Canoas | R. Negro R. Urubu | Santa Isabel | Rio Canoas |
| Anuais nativas | 6,0 | 0 | 12,5 | 8,8 | 0 | 8,0 |
| Perenes nativas | 39,3 | 38,2 | 43,8 | 37,7 | 70,4 | 44,0 |
| Anuais exóticas | 4,3 | 0 | 0 | 8,2 | 0 | 4,0 |
| Perenes exóticas | 50,4 | 61,8 | 43,8 | 45,3 | 29,6 | 44,0 |
| Número médio spp/pomar | 14,6 | 6,8 | 16,0 | 22,7 | 6,8 | 12,5 |

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson^a entre pomares caseiros em diferentes solos (TPI e solos não antrópicos) e regiões geográficas (German, 2001).

| Região | Rios Negro/Urubu | | Santa Isabel | | Rio Canoas | |
|-------------------------------|------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | TPI | ñ antró | TPI | ñ antró | TPI | ñ antró |
| Classe de Solo | - | 0,72 | 0,64 | 0,44 | 0,11 | 0,26 |
| Rio Negro/Urubu - TPI | - | 0,72 | 0,64 | 0,44 | 0,11 | 0,26 |
| Rio Negro/Urubu - ñ antrópico | 0,72 | - | 0,50 | 0,37 | -0,02 | 0,14 |
| Santa Isabel - TPI | 0,64 | 0,50 | - | 0,58 | 0,11 | 0,23 |
| Santa Isabel - ñ antrópico | 0,44 | 0,37 | 0,58 | - | 0,05 | 0,17 |
| Rio Canoas - TPI | 0,11 | -0,02 | 0,11 | 0,05 | - | 0,13 |
| Rio Canoas - ñ antrópico | 0,26 | 0,14 | 0,23 | 0,17 | 0,13 | - |
| Médias | 0,43 | 0,34 | 0,41 | 0,32 | 0,08 | 0,19 |

^aCorrelações estimadas a partir de porcentagens (a proporção de pomares com cada cultivo presente).

Essas correlações sugerem que as associações de cultivos mais similares em todas as regiões e classes de solos são aquelas existentes em pomares em TPI e em Latossolo na região dos Baixos Rio Negro e Rio Urubu. A implicação é que, nessa região, não existe vantagem especial no cultivo de pomares caseiros em solos mais ricos, como TPI. Os pomares caseiros em TPI em Santa Isabel são similares àqueles no Baixo Rio Negro. Isso sugere que os pomares em TPI possuem um papel similar na subsistência de cada região e que uma lógica comum explica o manejo das associações solo-planta nos pomares de Santa Isabel.

As composições mais diferentes, por outro lado, são entre os pomares em solos não antrópicos do Baixo Rio Negro e Rio Urubu e os pomares em TPI do Rio Canoas, onde as associações botânicas não têm correlações significativas. Outra correlação fraca é a que contrasta os pomares em TPI do Rio Canoas com outros pomares similares, o que sugere que os pomares do Rio Canoas são muito divergentes dos pomares em outras regiões. German (2001) interpreta essa falta de correlação como indicativa de menor importância de pomares em TPI no Rio Canoas, o que cria associações mais casuais nesses sítios. German sugere ainda que a existência de pomares em TPI no Rio Canoas se deve mais à abundância desse solo em áreas favoráveis ao assentamento do que à seleção intencional de uma mancha de TPI pelos habitantes recém-chegados. Isto é mais evidente quando sítios, e por extensão pomares, não mostram forte relação com a extensão da mancha de TPI.

Major et al. (2005a) examinaram 16 pomares em TPI ao norte de Manaus e encontraram 79 espécies de plantas alimentícias, sendo que pomares individuais variaram muito em número de espécies: mínimo de 7 e máximo de 44. O número de espécies nativas (definidas como estando presentes na época da conquista européia veja Clement, 1999a) foi menos da metade (35), mostrando a importância dos pomares para experimentação e das TPI para adaptação de espécies exóticas.

Klüppel (2006) examinou 12 pomares em TPI na Comunidade do Santana, Manacapuru, a Sudoeste de Manaus, identificando espécies alimentícias e medicinais. Foram encontradas 51 espécies alimentícias, das quais 20 exóticas. A maioria das espécies alimentícias é frutífera (36), sendo 14 exóticas. Klüppel também identificou 79 espécies de plantas medicinais, com muita variação em número entre lotes: mínimo de 1 e máximo de 34. Como nas plantas alimentícias, muitas plantas medicinais são exóticas (37%). Em uma comparação com um pomar em Latossolo Amarelo, cuja dona era considerada uma especialista em plantas medicinais, Klüppel observou que certas espécies eram restritas à TPI, mesmo que algumas tenham sido indicadas pela proprietária do pomar em Latossolo Amarelo. Entre elas, destacam-se as espécies da família Zingiberaceae, notadamente a mangarataia (*Zingiber officinale*), que foi a espécie de maior ocorrência nos 12 pomares caseiros em TPI. A mangarataia é uma planta originária da Ásia, que chegou ao Brasil menos de um século após o descobrimento (Lorenzi & Abreu Matos, 2006). Para seu cultivo, recomendam-se solos preferencialmente argilo-arenosos, férteis, de boa drenagem e com pH entre 5,5 e 6,0. Na área estudada por Klüppel, a grande fertilidade das TPIs certamente torna possível o cultivo de espécies medicinais exóticas que não são cultiváveis facilmente nos solos comumente encontrados na Amazônia (Clement et al., 2003).

Na Comunidade do Santana, os pomares caseiros representam a principal fonte de renda e alimento das famílias e ocupam praticamente toda a área contendo TPI de cada lote. Na Comunidade, os pomares vêm sendo cultivados continuamente desde a re-ocupação da região, há mais de cem anos. Apesar disso, nenhum agricultor entrevistado afirmou ter notado uma diminuição da fertilidade de seus solos ao longo do tempo. Ainda que sem a intencionalidade de recriá-los, algumas práticas de manejo efetuadas pelos agricultores de Santana são provavelmente as responsáveis pela manutenção da fertilidade da mancha de TPI encontrada na área de estudo. Dentre essas práticas destacam-se o uso de esterco de galinha, restos de capina, poda, varredura e matéria orgânica oriunda das casas, e a utilização do fogo de maneira moderada.

Lleras et al. (em prep.) examinaram 18 pomares no Alto Rio Amazonas a leste de Manaus, sendo dez em comunidades rurais e oito no centro urbano de Silves, Amazonas. Três dos sítios rurais possuem TPI e todos os quintais urbanos também, pois Silves foi um importante centro indígena antes da conquista. Das 52 espécies frutícolas encontradas nesse levantamento, os sítios em TPI tiveram em média 19 espécies (mínimo 9, máximo 28), enquanto os dois sítios em Latossolo Amarelo tiveram 20 e 21 espécies, e os cinco sítios na várzea tiveram 13 espécies frutíferas (mínimo 9, máximo 17). O sítio em TPI com o menor número de espécies frutíferas estava dominado por limorana (*Chomelia anisomeris* Muell. Arg., Rubiaceae), o que reduziu a média observada em TPI. Lleras et al. também catalogaram as plantas medicinais, olerícolas e ornamentais (muitas das quais são multi-uso) e encontraram 132 espécies. Nos três sítios em TPI, encontraram uma média de 17 espécies (mínimo 10, máximo 32), e o sítio dominado por limorana novamente teve menos espécies. Os cinco sítios na várzea tiveram em média 19 espécies enquanto os dois sítios em Latossolo Amarelo tiveram em média 33 espécies. Uma conclusão dessas observações diferentes é que a falta de manejo de invasoras muito agressivas, como a limorana, pode contribuir significativamente para a diminuição da diversidade presente.

McCann (2004) examinou pomares (a maioria em TPI) na região de Santarém, Pará, principalmente no Rio Arapiuns e seus afluentes, e encontrou muita variação na diversidade e composição entre os lotes, uma proeminência de espécies frutícolas e medicinais, e boa representação de espécies exóticas. A presença de TPI certamente influencia o caráter dos pomares, mas, devido à história única de ocupação e manejo de cada sítio, é difícil separar os efeitos atribuídos especificamente ao tipo de solo das outras variáveis que possam explicar a variabilidade. Pôde-se identificar dois aspectos importantes das histórias particulares que merecem mais atenção na explicação das diferenças entre os pomares da região: primeiro, a duração de ocupação do lugar; segundo, as motivações, preferências e oportunidades dos moradores de obter e cultivar certas variedades de plantas.

Em geral, os pomares mais diversos, e com mais espécies e variedades raras, são os pomares mais antigos e/ou com donos especialmente interessados em diversidade. Nesta região, as manchas de TPI são muito apreciadas como lugares de moradia, seja por causa da qualidade de solos, a presença de plantações indígenas ou a localidade estratégica (confluência de rios, terra firme adjacente ao rio etc.) (McCann, 1999a; 2004). Acredita-se que a re-colonização após o despovoamento indígena (causada pelo contato europeu) foi preferencialmente em TPI pelas mesmas razões que os moradores modernos as escolheram.

Uma comparação entre três lugares no Alto Rio Arapiuns -- uma comunidade antiga (Mentai), uma casa isolada em TPI (Santa Catarina), e várias casas novas entre Monte Sião e Curí -- ilustra a importância da história e das preferências dos moradores do lugar na formação de pomares. O pomar de Santa Catarina é um dos mais ricos e interessantes observados na região. O lugar foi re-colonizado na segunda metade do Século XIX por um curandeiro conhecido como Mirandolino, famoso na região até hoje. A família do bisneto dele mora no lugar hoje. O bisneto também é procurado para tratamentos botânicos, muitos deles preparados com plantas do pomar. Os donos atuais também possuem diversas espécies ornamentais e frutícolas, incluindo três variedades de tucumã (*Astrocaryum* spp.), das quais uma tucumã-i é considerada como o único indivíduo desta variedade na região. Os donos sabem quem plantou cada fruteira e em que ano, e, para as mais recentes plantadas por eles mesmos, lembram de onde conseguiram a semente ou a plântula, quando não são oriundas do próprio lugar. Existe um arbusto antigo no seu pomar com uma origem misteriosa e atribuída ao Mirandolino: o ipadu (*Erythroxylum coca* var. *ipadu* Plowman), que usam para aliviar dor de estômago. O velho curandeiro viajava muito ou talvez tenha encontrado o arbusto no local quando ele colonizou, uma herança dum morador indígena que ocupava o lugar anteriormente. A distribuição moderna desta cultivar domesticada é quase 1500 km a oeste do Rio Arapiuns (McCann, 1999b; Clement et al., 2003). Este exemplo mostra a importância do pomar como lugar de experimentação, introdução de novidades e acumulação de diversidade ao longo de tempo. Comparado com esse sítio, os outros locais são menos ricos, especialmente quando não têm TPI e quando foram estabelecidos mais recentemente. Por exemplo, os locais mais novos entre Monte Sião e Curí têm pomares extremamente pobres ou quase inexistentes, com as roças de mandioca ocupando a área tipicamente dedicada aos pomares.

Quintais urbanos em TPI

WinklerPrins (2002, 2006) e WinklerPrins & Souza (2005) estudaram 25 quintais encontrados em área urbana do Município de Santarém, Pará, a maioria em TPI ou TM, e verificaram que 23% das espécies úteis encontradas eram frutíferas, 36% medicinais, 20% ornamentais e 20% hortaliças. Uma alta diversidade de plantas foi encontrada, com um total de 182 espécies e 95 variedades. Esta diversidade é similar a outros inventários de várias partes da Amazônia (WinklerPrins, 2002). Com essa alta diversidade pode-se dizer que quintais urbanos são lugares onde se conserva agrobiodiversidade na vida cotidiana (WinklerPrins, 2006). Das frutíferas encontradas, 60% são exóticas (WinklerPrins & Sousa, 2005). A diversidade dos quintais também contribui para o manejo e a criação da TPI e TM, pois os donos produzem 'terra queimada' com o material orgânico colhido durante a limpeza semanal do quintal e esse material é aplicado nas frutíferas e nas hortaliças (WinklerPrins & Souza, 2005).

Lleras et al. (em prep.) examinaram oito quintais sobre TPI no centro urbano de Silves, Amazonas, e encontraram 30 espécies frutícolas, com uma média de 11 por quintal (mínimo 6, máximo 15), sendo as mais frequentes manga e laranja. Das 30 frutíferas, 10 eram exóticas, uma proporção menor que em outros estudos. Lleras et al. também examinaram cinco quintais para identificar plantas medicinais, olerícolas e ornamentais, e encontraram 81 espécies, com uma média de 22 por quintal (mínimo 8, máximo 55). Mais da metade dessas espécies era exótica.

Roças ativas

German (2001) comparou as percepções dos agricultores sobre o desempenho de seus cultivos com as práticas agrícolas usadas nas roças do Baixo Rio Negro e Baixo Rio Urubu para determinar a influência relativa desse desempenho (relacionado com a fertilidade do solo) e a conduta do agricultor (Tabela 3). Os coeficientes de correlação de Pearson são usados para determinar a relação entre as medidas cognitivas e botânicas.

Tabela 3. Avaliações dos informantes sobre o desempenho de cultivos nas roças em TPI e em Latossolos Amarelos, a porcentagem das roças com a espécie em consideração e a porcentagem das plantas na classe de produtos, e seus coeficientes de correlação de Pearson entre desempenho e composição das roças (baseada em % roça) nas últimas duas linhas (German, 2001).

| | Avaliações dos Informantes ^a | | Observações botânicas | | | |
|------------------------------------|---|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Terra Preta de Índio | | Latossolo | |
| Espécies cultivadas | TPI | Latossolo | % Roças | % Plantas | %Roças | % Plantas |
| Abacaxi | 1,45 | 1,71 | 0,00 | 0,00 | 16,00 | 0,53 |
| Banana | 0,42 | 1,41 | 4,65 | 0,12 | 44,00 | 0,5 |
| Cana-de-açúcar | 1,50 | 1,13 | 2,33 | 0,53 | 16,00 | 0,3 |
| Cará | 1,50 | 1,88 | 16,28 | 0,62 | 24,00 | 0,57 |
| Cariru | 2,00 | 0,20 | 25,58 | 2,6 | 0,00 | 0,00 |
| Feijão comum | 2,00 | 0,38 | 20,93 | 2,42 | 0,00 | 0,00 |
| Macaxeira | 1,33 | 1,55 | 4,65 | 1,45 | 4,00 | 1,81 |
| Mamão | 2,00 | 0,50 | 37,21 | 6,33 | 4,00 | 0,07 |
| Mandioca | 0,75 | 1,88 | 41,86 | 30,23 | 92,00 | 77,51 |
| Maxixe | 2,00 | 0,88 | 39,53 | 5,33 | 8,00 | 0,23 |
| Melancia | 1,90 | 0,22 | 11,63 | 0,59 | 0,00 | 0,00 |
| Milho | 2,00 | 0,29 | 44,19 | 9,24 | 0,00 | 0,00 |
| Limão | 1,42 | 1,42 | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 0,14 |
| Pepino | 2,00 | 0,50 | 13,95 | 3,82 | 0,00 | 0,00 |
| Pimenta-de-cheiro | 2,00 | 0,50 | 16,28 | 3,93 | 8,00 | 0,37 |
| Pimentão | 2,00 | 0,32 | 9,30 | 8,71 | 0,00 | 0,00 |
| Quiabo | 2,00 | 0,35 | 6,98 | 0,32 | 0,00 | 0,00 |
| Tomate | 2,00 | 0,10 | 6,98 | 1,54 | 0,00 | 0,00 |
| Abóbora | 1,92 | 0,50 | 23,26 | 1,01 | 4,00 | 0,07 |
| Avaliações informantes / % roças | | | 0,2012 | | 0,2012 | |
| Avaliações informantes / % plantas | | | -0,2684 | | -0,2684 | |

^aAvaliações pelos informantes foram: 2 ("sim, cresce bem"); 1 ("cresce, mas não bem"); 0 ("não cresce bem").

As correlações positivas sugerem que agricultores decidem sobre o que plantar com base na sua percepção sobre a fertilidade do solo e seu conhecimento tradicional em ambientes onde um dado cultivo tem melhor desempenho (German, 2001). As correlações, maiores entre percepções e observações botânicas em Latossolos do que em TPI, refletem as maiores limitações que os agricultores precisam enfrentar quando selecionam cultivos para os Latossolos. Ou seja, a fertilidade do solo é um determinante mais importante para a seleção de cultivos em Latossolos do que em TPI.

Para entender como os sistemas agrícolas divergiram entre os locais nos baixos Rios Negro e Urubu e outras regiões com água preta, German (2001) estudou as diferenças botânicas entre TPI e solos não antrópicos em cada região, inclusive examinando sítios com agricultura intensiva (Tabela 4). Diversas observações importantes mostram as diferenças entre regiões com respeito ao uso e manejo de TPI. A mais evidente é a ausência completa de roças em TPI perto de Santa Isabel do Rio Negro, Amazonas. Essa observação sobre uso agrícola e o pouco reconhecimento de TPI sugere que os solos antrópicos são de pouca importância cultural apesar do fato de que as pessoas podem identificar esses ambientes modificados com facilidade.

Tabela 4. Porcentagem de roças tradicionais e de uso intensivo com cada classe de cultivo em cada região e classe de solo (German, 2001). Informação sobre espécies é baseada em ausência e presença, não em demografia.

| | Terra Preta de Índio | | | | Solos não antrópicos | | | |
|-------------------|----------------------|--------|--------|---------|----------------------|--------|--------|---------|
| | Negro | Santa | Rio | Uso | Negro | Santa | Rio | Uso |
| Classe de cultivo | Urubu | Isabel | Canoas | intens. | Urubu | Isabel | Canoas | intens. |
| Fruteiras | 29,9 | 0 | 44,4 | 91,7 | 40,6 | 43,2 | 50,0 | n/a |
| Hortaliças | 31,9 | 0 | 11,1 | 8,3 | 6,3 | 2,3 | 0 | n/a |
| Grãos/Legumes | 9,3 | 0 | 22,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | n/a |
| Ervas comestíveis | 28,9 | 0 | 16,7 | 0 | 21,9 | 11,4 | 0 | n/a |
| Gramíneas | 1,0 | 0 | 0 | 0 | 7,8 | 11,4 | 6,3 | n/a |
| Raízes/tubérculos | 12,4 | 0 | 22,2 | 0 | 25,0 | 36,4 | 43,8 | n/a |
| Média no spp/roça | 12,1 | 0 | 6 | 6 | 7,1 | 5,5 | 2,7 | n/a |

Os sistemas de cultivo intensivo em TPI tendem a ser de fruteiras e hortaliças, enquanto que o uso intensivo de solos não antrópicos para qualquer classe de cultivo não ocorre entre este grupo de agricultores familiares. Esta observação certamente tem a ver com os altos preços de adubos químicos que seriam necessários em solos não antrópicos para permitir uma produção aceitável. Finalmente, o número médio de espécies é mais alto em roças em TPI do que em roças em outros solos, entre as famílias que usam a TPI para fazer roça.

Uma ressalva importante é que a informação sobre as espécies (tipo ausência/presença) pode esconder tendências importantes sobre abundância, em especial no Rio Canoas onde a maioria da terra é dedicada a dois cultivos importantes: banana e mandioca. Enquanto as roças em TPI apresentam maior diversidade de espécies (média n° spp/roça), essa tendência só tem importância econômica para uma família que tem desenvolvido um sistema de produção complexo. Todas as outras famílias preferem solos não antrópicos para seus sistemas de banana com mandioca, deixando suas parcelas de TPI em um estado de semi-abandono. Klüppel (2006) também observou que a inaptidão agrícola das TPI para produzir mandioca e banana foi citada como uma desvantagem desse solo, por três agricultores entre os dez entrevistados na Comunidade do Santana, Manacapuru, Amazonas.

Enquanto a TPI parece não oferecer uma vantagem produtiva para os agricultores de Santa Isabel que não abrem roças nestes solos antrópicos, associações planta-solo são evidentes nos baixos Rios Negro e Urubu e no Rio Canoas (German, 2001). As TPIs são preferidas para grãos e hortaliças, enquanto os solos não antrópicos são preferidos para raízes, gramíneas comestíveis e fruteiras. Índices de divergência botânica sugerem que uma maior diversidade de espécies é cultivada em TPI que em solos não antrópicos sempre que a decisão é usar estes solos para agricultura. No entanto, o potencial da produtividade de TPI é pouco explorado, especialmente em Santa Isabel e no Rio Canoas, onde estes solos são muito pouco usados para roças. Nas quatro comunidades perto de Santa Isabel, onde a TPI é mais abundante e claramente identificada por análises químicas, as roças em TPI são ausentes. Observações em um sítio com TPI cultivada um pouco mais distante de Santa Isabel confirmam sua produtividade potencial no Meio Rio Negro: os desempenhos de milho, feijão, abóbora e mandioca foram excelentes.

Destas observações etnográficas preliminares, dois fatores aparecem como determinantes da falta de interesse em TPI em Santa Isabel (German, 2001). Primeiro, a forte identidade étnica das comunidades contribui para a manutenção de muitas tecnologias tradicionais e padrões alimentares que têm sido abandonados nas áreas mais perto de Manaus, nos baixos Rios Negro e Urubu. Segundo, existe pouca demanda para cultivos mais exigentes nos mercados regionais do Médio Rio Negro, o que aumenta a necessidade de soberania alimentar entre as comunidades indígenas e caboclas. As comunidades de Santa Isabel pararam de plantar esses cultivos porque “não tinha saída”. No Baixo Rio Negro existe uma limitação similar, onde mercados municipais são facilmente saturados com a

produção de poucas áreas de TPI, e as atividades de alguns indivíduos mais empreendedores reduzem as possibilidades para outros agricultores. Somente os agricultores com acesso aos mercados de Novo Airão e Manaus cultivam TPI continuamente, e os sem acesso têm dificuldades em comercializar sua produção, demonstrando que fatores político-econômicos importantes determinam as decisões sobre o uso da terra. Observações similares foram feitas no Rio Canoas: nos sítios do alto rio, mais longe da estrada e transporte, a TPI é geralmente abandonada, sugerindo que as comunidades não vejam oportunidades em seu uso devido à dificuldade de comercialização.

Não só as plantas cultivadas, mas também a vegetação espontânea é afetada pela presença de TPI. Num estudo controlado comparando 4 sítios de TPI com seus solos adjacentes, as ervas daninhas em roças ativas tiveram até 45 vezes maior cobertura do solo e apresentaram até 11 vezes mais espécies em TPI. A comunidade de ervas daninhas foi mais parecida entre sítios de TPI que entre sítios de solo não antrópico (Major et al., 2005b). No passado, o nível de perturbação (fogos freqüentes, menor duração de pousio etc.) dos sítios de TPI foi maior que o dos solos não antrópicos, e mesmo assim os sítios de TPI tiveram mais espécies, sugerindo o efeito de reservatório. No entanto, existe uma explicação alternativa que ainda requer pesquisa: as espécies que são melhor adaptadas às perturbações mais freqüentes em TPI são mais presentes, o que dá a impressão de reservatório sem ser o exemplo do sítio invadido por limorana, observado por Lleras et al. (em prep.) mostra o que pode ocorrer quando as perturbações são muito freqüentes sem manejo de uma erva daninha agressiva. As espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio foram mais abundantes em TPI, provavelmente porque os maiores teores de boro, molibdênio e, em menor grau, potássio, fósforo, cálcio na TPI dá uma vantagem às leguminosas, pois podem aproveitar estes elementos ainda mais com a fixação de nitrogênio da atmosfera (Rondon et al., 2007). Muitas das espécies nos sítios comparados eram ervas anuais cosmopolitas, comuns em cidades ao lado de ruas e em terrenos baldios. Estas espécies são adaptadas a áreas perturbadas. Pela sua agressividade e eficiência reprodutiva após invadir uma área essas espécies podem impedir, ou pelo menos atrasar, o estabelecimento de espécies nativas durante a sucessão ecológica após o uso agrícola.

Desde que os primeiros agricultores não indígenas chegaram na Comunidade do Santana, em Manacapuru (há mais de cem anos), aprenderam a utilizar a produtividade potencial das TPI ao máximo (Klüppel, 2006). Todos os agricultores da área de estudo só cultivam em terra firme nas áreas de TPI ou TM, apesar da maior parte das propriedades serem constituídas de Latossolo Amarelo. Alguns fatores são responsáveis por essa escolha. Os agricultores têm consciência de estarem habitando uma área com TPI e atestam várias vantagens desses solos em relação aos solos comuns. Afirmarções como “nas Terras Pretas tudo dá” ou “ela (a Terra Preta) não precisa de adubo” traduzem a percepção dos agricultores do Santana em relação à fertilidade e à aptidão agrícola das Terras Pretas para espécies demandantes em nutrientes. Alguns desses agricultores afirmaram já terem plantado nas áreas de solo não antrópico, mas alegaram que o trabalho despendido e o retorno financeiro não compensam manter um cultivo nesse tipo de solo. Aliado a isso, o desenvolvimento *in situ* de práticas de manejo voltadas para a manutenção da fertilidade do solo ao longo dos anos, como a constante utilização de adubo orgânico e o uso moderado do fogo, possibilitam o cultivo permanente da mancha de TPI na região.

Na região do Rio Arapiuns (Santarém, Pará), os caboclos também mostram uma forte preferência para a TPI devido à percepção de que “tudo dá na terra preta....e só mandioca dá fora da terra preta” (McCann 1999b, 2004; Woods & McCann, 1999, 2001). Não obstante, em contraste ao caso de Santa Isabel citado acima, a disponibilidade das manchas de TPI é limitada, e o acesso a TPI varia muito entre as comunidades e também entre as famílias dentro de comunidade. É muito difícil encontrar uma mancha de TPI que não seja ocupada e intensivamente cultivada, se não for muito isolada dentro da floresta. A mancha de TPI é reservada para os cultivos mais exigentes, incluindo milho, feijão, abóbora, cará, tabaco, melancia, maxixe, *Citrus* spp. e café (Woods & McCann, 1999: 8). Fora de TPI, nos Latossolos e Argissolos que predominam na região, os agricultores tem visto que a produtividade destes cultivos é muito baixa. É nesses solos pobres onde fazem seus roçados de mandioca, pois cultivar mandioca em TPI não seria considerado um uso adequado de um recurso limitado e altamente

valorizado para o plantio de quase todos os outros cultivos. Ademais, o aumento de produtividade de mandioca na TPI não é tão dramático como no caso dos outros cultivos, e o aumento de esforço necessário para capinar é marcante e maior do que exibem os cultivos de ciclo mais curto (German 2003b). O contraste marcado entre o repertório de grãos, hortaliças e frutos cultivados nas TPI e os monocultivos de mandioca nos solos não antrópicos mostra a importância de TPI como reservatório de agrobiodiversidade na região.

Como German (2001) e Major et al. (2005a) observam no caso dos mercados regionais de Manaus e Novo Airão, o mercado regional de Santarém também é um importante consumidor de produtos agrícolas originados de TPI do Rio Arapiuns, mas o papel do mercado não parece ser tão determinante neste caso (McCann, obs. pess.). A principal razão é que o produto comercial mais importante na região é farinha de mandioca, cultivada principalmente em solos não antrópicos. Adicionalmente, como só mandioca (e muito pouco banana) é cultivada fora de TPI, uma parte significativa da produção em TPI é destinada para consumo caseiro, ou trocada localmente por outros produtos ou por mão-de-obra, muitas vezes com famílias sem acesso a TPI. O efeito de distância ou acesso ao mercado certamente é evidente (Hiraoka et al., 2003), mas a reduzida intensidade de ocupação e cultivo das TPI mais isoladas também depende de acesso às escolas primárias e à proximidade dos parentes e vizinhos (McCann, 2004).

Roças em pousio

O estabelecimento de roças em solos de TPI na Amazônia é freqüente e preferido pelos colonos devido à elevada fertilidade do solo, especialmente os teores de bases trocáveis (Ca, Mg, P), da relação C/N favorável ao desenvolvimento vegetal, expresso no alto teor de matéria orgânica e textura que facilita o desenvolvimento radicular. Produzidas no passado, pela ação de uso intensivo do solo pelas populações pré-colombianas, as manchas de TPI estão espalhadas em toda a região (Falesi, 1974; Sombroek, 1966). Existem áreas com extensões consideráveis de TPI como nas regiões de Maués (AM), Silves (AM), Rio Negro (AM), Curuá-Una (PA), Vale do Baixo Rio Tapajós (PA), dentre outros locais (Sombroek, 1984; Sombroek et al., 2000). Esses solos contêm matéria orgânica composta de resíduos ricos em substâncias húmicas aromáticas, que incluem 70 vezes mais carbono estável do que os solos adjacentes (Glaser et al., 2001). Essa estabilidade se reflete química e microbiologicamente, podendo assim permanecer por centenas de anos, pois produz compostos carboxílicos que podem aumentar a capacidade do solo em reter nutrientes (Glaser et al., 2001). Assim os solos tipo TPI podem ser as chaves para manter a sustentabilidade de sistemas agroflorestais familiares na Amazônia. Moran (1981) sugere que o sucesso da agricultura de pequena escala pode ser incrementado com a ocorrência das manchas férteis de TPI. Alguns colonos têm a habilidade de localizar e identificar essas manchas através de espécies vegetais indicadoras (Moran, 1981; McCann, 1999b; German, Hecht, Ruivo, este volume).

No entanto, em termos territoriais amazônicos, essas manchas são consideradas muito reduzidas, mas podem produzir algum efeito positivo nos padrões locais de colonização e uso da terra (Fearnside, 1984). As roças sobre TPI obedecem ao mesmo padrão de corte-queima-cultivo-abandono, ou “*slash and burn*”, verificado nas roças de colonos sobre outros tipos de solos na região (Vieira, 1996; Denich & Kanashiro, 1995), embora com menos intensidade face a rápida re-utilização da área. Entretanto, a colonização vegetal segue vias e estratégias diferentes nas diversas fases da sucessão secundária. Da mesma forma que as roças ativas nas observações feitas por Major et al. (2005b), quando abandonadas as roças sobre TPI costumam também ser logo ocupadas por ervas invasoras, de comportamento agressivo e com elevada capacidade vegetativa.

Na Região de Curuá-Una (PA), Almeida (obs. pess.) constatou diferenciações nos padrões de uso agrícola e da colonização vegetal nas áreas de roças em pousio sobre TPI em relação àquelas que repousam sobre Latossolos Amarelos (LA), freqüentes na Zona Bragantina no nordeste do Pará:

- Em TPI o tempo de uso do solo sob cultivo é maior quando comparado com LA (ciclos de 2 a 5 anos em TPI e 1 a 2 anos em LA) e o tempo sob pousio é menor (2 a 5 anos em TPI e 5 a 10 anos em LA). Isso ocorre porque os manejos de roças em TPI e capoeiras sobre LA são diferentes. O colono que cultiva sobre LA, em capoeiras alteradas ou degradadas, tem a expectativa de recuperação da capacidade de cultivo do solo durante o pousio, melhorando as suas propriedades físico-químicas. Em TPI o ciclo de rotação é mais direcionado para não degradar ou esgotar o solo.
- Em TPI existe a dominância de poucas espécies invasoras, geralmente cosmopolitas, pertencentes às famílias Poaceae (gramíneas) e Fabaceae (leguminosas), especialmente com formas de vida arbustivo-herbácea. A maioria das espécies parece se reproduzir a partir de estolões e rizomas, mas também de sementes (leguminosas). Grande parte das leguminosas do grupo de ervas e arbustos possui a capacidade de fixar N atmosférico por meio de microorganismos simbiotes associados às suas raízes. Isso produz um efeito potencial muito eficaz para colonizar e ocupar espaços nesses locais. Estima-se que 90% das Papilionoideae, 76% das Mimosoideae e 30% das Caesalpinoideae estudadas na Região Amazônica têm capacidade de nodulação (Souza & Silva, 1997; Gehring, 2003), associadas na maioria das vezes com bactérias do gênero *Rhizobium*. Os estolões e rizomas se mantêm ativos mesmo quando a área está sob cultivo, quando são controlados com capina.
- Como o período de pousio em TPI é muito curto, não há tempo suficiente para se estabelecer assembléias de espécies de porte arbóreo da sucessão secundária tardia, como ocorre em LA. Este padrão de uso da terra tem implicações diretas na composição de espécies do mosaico de fitopaisagens associadas às manchas de TPI, especialmente para manter a diversidade genética e biológica em forma de banco de sementes.
- Ao contrário do que ocorre nas capoeiras sobre LA, o uso do fogo não é tão recorrente em TPI porque, na re-utilização da área, a limpeza é quase sempre manual, devido ao não desenvolvimento de vegetação lenhosa de porte florestal, como ocorre frequentemente em capoeiras de colonos no Nordeste Paraense (Denich & Kanashiro, 1995). Isso gera menos perda de N e C do solo e menor desmobilização de outros nutrientes, mantendo a estabilidade do solo e alterando a sucessão vegetal quando a área é abandonada.

Florestas secundárias

As florestas secundárias sobre TPI surgiram do abandono dessas áreas pelos agricultores familiares após o declínio da produção de subsistência ou por questões culturais de territorialidade. Alguns grupos ainda voltavam aos antigos sítios para coletar alguns produtos de espécies perenes, tais como castanha, andiroba, taperebá, buriti e látex de seringueira, resina de breu e de jatobá, como acontece até hoje na região da Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA Caxiuanã), localizada nos municípios de Portel e Melgaço, a 400 km de Belém, Pará.

Um recente estudo na FLONA Caxiuanã comparou a riqueza e abundância de espécies entre duas parcelas de 1 ha (Almeida et al., em prep.). A primeira foi localizada em uma floresta secundária antiga sobre TPI, cujo manejo ocorreu entre 720-300 anos atrás (Kern, 1996), e a outra em uma floresta de terra firme sobre Latossolos Amarelos de textura areno-argilosa, que aparentemente nunca foi derrubada. Foram inventariados um total de 744 árvores, cipós e palmeiras nos dois sítios avaliados.

O sítio sobre TPI (389 indivíduos) apresentou um número de indivíduos 8,7% mais elevado que na parcela sobre Latossolo Amarelo (355 indivíduos), e a densidade média de plantas com DAP > 10 cm foi similar entre os dois sítios. Por outro lado, observou-se que a riqueza de espécies foi 39,7% mais elevada na parcela sobre Latossolo Amarelo, com 131 espécies, enquanto a parcela sobre TPI possui apenas 79 espécies. O número de famílias botânicas foi similar entre os sítios, com 37 famílias ocorrendo no sítio sobre Latossolo Amarelo e 38 no sítio sobre TPI.

Os dois sítios apresentaram uma baixa similaridade específica (6,9 %), com apenas seis espécies comuns. O compartilhamento de espécies entre os sítios pode ser interpretado como efeito do sistema de manejo adotado pelos antigos moradores da TPI, evidenciando a substituição de muitas espécies

originais da floresta e o aumento da abundância de algumas de importância para a sobrevivência daquelas populações. No entanto, a similaridade ao nível de famílias botânicas foi mais elevada, atingindo 66,67 %, com 25 famílias compartilhadas por ambos os sítios.

Quando o manejo de florestas tropicais por populações tradicionais ocorre, a tendência inicial é que a diversidade vegetal aumente com a introdução de novas espécies (Peters, 2000), que são adicionadas à matriz original de floresta remanescente na fase pré-manejo. No entanto, o manejo da densidade de plantas pelas populações tradicionais tende a produzir, ao longo do tempo, assembléias de espécies com diversidade mais baixa do que a floresta adjacente original, com menos espécies localmente raras. Esta explicação pode ser evidenciada pelo índice de diversidade de Shannon (H), que foi maior na parcela em floresta primária (4,31) que na parcela sobre TPI (3,58).

No passado, parece que o controle das densidades de plantas e a seleção de espécies pelas populações pré-colombianas e mesmo caboclas atendiam mais à necessidade de longo prazo por recursos de determinados táxons do que necessariamente por características biológicas como rápida taxa de crescimento, por exemplo. Tanto é assim que entre as espécies com maior densidade estão a castanheira e a andiroba, cujos indivíduos ainda estão produzindo, com oferta de frutos a médio e a longo prazo. No entanto, esse padrão não é geral porque algumas espécies, como o buriti, o taperebá e o tucumã, podem iniciar seu ciclo reprodutivo antes dos dez anos de idade.

Dinâmica de Sucessão Ecológica

A fertilidade dos solos é um dos fatores ambientais que afeta a dinâmica de processos que envolvem a vegetação, ampliando a produtividade dos ecossistemas. Por exemplo, Giardina et al. (2003) demonstraram em uma plantação experimental de *Eucalyptus saligna* que parcelas que sofreram a adição de fertilizantes foram capazes de aumentar a produção de liteira em 30% após 2-4 anos. Este fato foi associado à maior fitomassa do dossel nas parcelas com adição de fertilizantes. Resultado similar foi observado em sítios de TPI na Amazônia, onde a cobertura de ervas daninhas em roças ativas foi até 45 vezes maior que em solos adjacentes (Major et al., 2005b). Com base nesses estudos, espera-se que a elevada fertilidade dos solos antrópicos tenha um efeito direto sobre a dinâmica de sucessão ecológica e produtividade dos sistemas sobre TPI em relação aos solos adjacentes. A elevada fertilidade das TPI pode, portanto, ser um dos fatores que possibilite um tempo de pousio mais curto em TPI em relação aos solos adjacentes (veja German, Hecht, Ruivo, este volume), mas também pode ter um impacto no efeito reservatório.

Dinâmica em roças ativas e em pousio

Estudos antropológicos e etnobiológicos apontam para diferenças de práticas agrícolas e de manejo entre TPI e solos não antrópicos por agricultores familiares (German, 2003a, 2003b; Hiraoka et al., 2003). Uma das diferenças mais marcantes é a duração do ciclo plantio/pousio (German, 2003b). O tempo de pousio em áreas de TPI pode ser 50% menor do que em áreas de solo não antrópico. Isso faz com que menos roças sejam instaladas em áreas recentemente desmatadas em TPI (26%) do que em solo não antrópico (73%) (German, 2003b). Além disso, nas roças estudadas as espécies plantadas em TPI são geralmente culturas de ciclo curto, como hortaliças, cereais e leguminosas, enquanto que aquelas plantadas em solo não antrópico têm ciclo mais longo, como mandioca e fruteiras. Os agricultores afirmam que o solo das roças em TPI se esgota mais rápido do que no Latossolo, mas quando é colocado em pousio leva menos tempo para “se recuperar” (German, 2003b). A dinâmica ecológica sugerida pelos estudos de Major et al. (2005b) pode ajudar a explicar porque a duração do pousio em sítios com TPI é mais curta.

Existem diversas razões para um pousio mais rápido em TPI. A invasão mais agressiva de ervas daninhas logo após a queima inicial da roça faz com que os investimentos em mão-de-obra sejam mais altos em TPI, criando um incentivo para os cultivos anuais de ciclo curto e o abandono logo em

seguida. Outro motivo é que enquanto o início da sucessão em TPI parece ser mais rápida que em Latossolos, os estágios seguintes parecem ser mais lentos em termos de acumulação de biomassa e taxa de crescimento em diâmetro das árvores no pousio (German, 2004). Além disso, a fertilidade natural de TPI faz com que o acúmulo de biomassa durante o pousio seja menos crítico para a restauração da fertilidade do solo que é o caso em Latossolos, permitindo a derrubada de capoeiras mais novas em TPI do que em Latossolo para obter o mesmo benefício. Esta dinâmica implica que é mais difícil estender a duração do período de cultivo em TPI, ao mesmo tempo em que é mais fácil trazer uma área de TPI de volta ao cultivo após o pousio.

Os agricultores residentes em áreas de TPI reconhecem um conjunto de espécies associado à sucessão em TPI que germinam e crescem espontaneamente uma vez que a capoeira é cortada para um novo ciclo agrícola. Na Região do Rio Negro e ao redor de Manaus, este conjunto inclui o mamão, a goiaba, alguns cultivos nativos e um grupo de ervas daninhas típicas de TPI (German, 2003a; Major et al., 2005b). Na Região de Santarém, incluindo o Rio Arapiuns e o Baixo Rio Tapajós, o mamão, a pimenta, o cará e o maxixe são os cultivos que os moradores observam aparecer espontaneamente nas roças novas em certos locais de TPI (McCann, 1999b; Woods & McCann, 1999, 2001). De acordo com os habitantes, o mamão germina na maioria dos locais e com o maior número de indivíduos. O maxixe, a pimenta e o cará aparecem mais raramente, e são tipicamente representados por poucos indivíduos numa roça.

Além da composição específica, os agricultores reconhecem uma estrutura de vegetação própria de TPI, que inclui um dossel mais baixo, um sub-bosque mais denso, diâmetro médio menor das árvores adultas da capoeira, e uma maior porcentagem de cipós e plantas com espinhos (German, 2003a; McCann, 1999b, 2004).

Dinâmica entre pousio novo, pousio velho e abandono

Num estudo dos bancos de sementes de amostras de TPI e solo adjacente, ambos debaixo de floresta, mais plântulas emergiram em TPI do que no solo adjacente (1365 plântulas m⁻² vs. 330, respectivamente), e mais espécies foram representadas (2,1 por bandeja em TPI vs. 1,2 em solo adjacente) (Major et al., 2005b). O interessante é que as TPI e os solos adjacentes amostrados não haviam sido utilizados na memória das pessoas que viviam na vizinhança. No entanto, as florestas em TPI devem ter recebido mais sementes movidas pelo vento e animais do que as florestas em solos adjacentes. Isto é porque os sítios de TPI amostrados estavam localizados perto de zonas de maior perturbação, como a beira de rios ou roças intensivas em TPI. Curiosamente, nenhuma das espécies observadas nesse estudo é considerada problemática (erva daninha) em roças ativas na vizinhança (Major et al., 2005b).

Um estudo sobre a dinâmica de liteira em uma floresta secundária sobre TPI na FLONA Caxiuanã demonstrou que florestas secundárias antigas sobre TPI são cerca de 10% mais produtivas que florestas primárias sobre Latossolo Amarelo (Aragão et al., em prep.). As florestas secundárias sobre TPI produzem anualmente 11,48±2,14 Mg de matéria seca por hectare. Este valor é 28% maior que a média encontrada (8,16 ± 0,35 Mg ha⁻¹.ano⁻¹) para as florestas primárias de terra firme e 13% maior que florestas de várzea (9,9 ± 1,6 Mg ha⁻¹.ano⁻¹) na Amazônia. Esse resultado sugere que áreas de TPI podem sustentar florestas mais produtivas. Na área de TPI em Caxiuanã, por exemplo, foi observada uma elevada densidade de castanheiras, cerca de 20 indivíduos por hectare que continuam produzindo frutos que são coletados por agricultores de comunidades vizinhas. No entanto, na área de Latossolo Amarelo esta espécie pode ser considerada rara nesta região, confirmando seu *status* de espécie indicadora (Clement et al., 2003).

O manejo histórico no sítio de TPI em Caxiuanã favoreceu uma maior ocorrência de espécies decíduas, tal como a castanheira, que nas áreas de Latossolo Amarelo. Esta característica do sítio sobre TPI se traduz em uma sazonalidade mais marcante da produção de liteira em relação à floresta primária sobre Latossolo. Fato interessante é que esta sazonalidade está relacionada principalmente com a

produção de frutos. Enquanto nas florestas sobre Latossolo Amarelo os frutos são produzidos ao longo de todo o ano, na TPI o pico de produção de frutos ocorre em agosto, com uma produção de $2,8 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, 98% maior que em áreas adjacentes. Portanto, a manutenção das áreas de TPI cobertas por florestas secundárias pode favorecer a produção de frutos nativos. Além disso, o uso de técnicas que viabilizam a reconstrução de TPI em áreas de sucessão secundária possui o potencial de aumentar a produtividade florestal na Amazônia.

Efeito reservatório frente à sucessão ecológica

Nos bancos de sementes estudados por Major et al. (2005b), uma espécie de Leguminosae apareceu somente em dois sítios de TPI. Também, as ervas daninhas de roças ativas em TPI tinham mais indivíduos deste grupo. É possível que as leguminosas sejam indicadoras da TPI, na definição de Clement et al. (2003). A maioria das leguminosas do grupo de ervas e arbustos possui a capacidade de fixar N atmosférico por meio da associação de microorganismos simbiotes em suas raízes. Isso produz um efeito potencial muito eficaz para colonizar e ocupar espaços nesses locais férteis. Nesse grupo de fixadores são comuns algumas leguminosas locais e cosmopolitas dos gêneros *Desmodium*, *Vigna*, *Crotalaria*.

Implicações e Padrões

Do conjunto de informações atualmente disponível é possível identificar alguns padrões e levantar hipóteses sobre as implicações dessas informações. No entanto, nem todas as observações seguem as tendências observadas na maioria, o que sugere que ainda não chegamos a uma massa crítica que permita entender todos os padrões. Considerando a escassez atual de informação, o número de hipóteses ainda é pequeno, e convidamos os leitores a uma reflexão sobre esse fato visando a sugerir novas implicações e padrões para futuras pesquisas.

Padrões biológicos

Considerando a importância de fogo na criação de TPI e especialmente de TM, a questão da dinâmica dos sistemas de produção sob manejo contínuo com fogo é pouco estudada. Uma das questões associadas é se existe pressão seletiva para cultivares tolerantes ao fogo entre os cultivos semidomesticados e domesticados, especialmente entre os cultivos tuberosos.

Como essas cultivares são manejadas em sistemas em que o fogo é uma ferramenta importante, elas precisam ser entendidas no contexto do sistema de plantio em anéis concêntricos praticado pelos Kayapó. Nesse sistema, a área central é plantada com batata doce, o primeiro anel é plantado com milho seguido por mandioca, com um anel exterior plantado com cultivares de duração maior, como cará e abacaxi. Palmeiras úteis, como inajá e babaçu, são deixadas durante o preparo da área e ambas são tolerantes ao fogo.

A evidência de tolerância ao fogo varia. Primeiro, os Kayapó praticam o que podemos chamar de “plantio pré-queima”. Após a roça ser cortada da floresta, mas antes da queima principal, alguns brotos de batata doce e manivas de mandioca são plantados mais ou menos na configuração final do anel. Em geral, estes brotos e manivas são plantados mais fundo que os plantados após a queima. Em seguida, a roça é queimada. Passados alguns dias, já com o solo frio, estes brotos e manivas começam a aparecer e, então, dependendo de um número de indicadores naturais (florescimento de certas plantas, migração de pássaros ou peixes, a posição de constelações, acúmulo de nuvens) e das preferências do dono da roça, a área é plantada. Segundo, no caso da batata doce, observamos a queima periódica de coberturas de folhas de palmeira e cipós secos encontrados no chão, bem como a queima de coivaras organizadas perto de toras de madeira ou isoladas. Essas queimadas criam uma camada fina de cinzas, o que deveria servir para reciclar potássio e, possivelmente, reduzir o crescimento de patógenos. Terceiro, dentro das

áreas com mandioca, as plantas estão sujeitas a fogos moderados como forma de controle de ervas daninhas. Tal controle pode ser feito com um corte casual com um terçado, seguido de queima, ou simplesmente por uma queima das ervas em pé. Em ambos os casos, os danos às plantas de mandioca parecem ser pequenos e facilmente tolerados. Quarto, os pés de cará, devido a sua longevidade nos sistemas de produção dos Kayapó, parecem ser pouco afetados pelo uso de fogo a seu redor. Esta resistência deve explicar, em parte, a observação de que o cará às vezes brota espontaneamente depois de cortar e queimar uma nova roça em TPI na Região do Rio Arapiuns (Clement et al., 2003).

Os Kayapó são famosos pela sua agrobiodiversidade, e é fácil observar o que parece ser seleção para tolerância ao fogo, especialmente para as cultivares plantadas antes da queima principal da roça. Isso também sugere que seria interessante testar diversas cultivares de raízes para avaliar sua tolerância e poder voltar a incentivar o uso de fogo para manejar nutrientes e, possivelmente, controlar pragas e doenças.

Padrões biogeográficos

Clement (1999b) mapeou uma hierarquia de centros e regiões de diversidade genética de cultivos nativos da Amazônia e os exóticos introduzidos antes da conquista européia. Se as áreas de TPI atuam como reservatórios genéticos, como sugerido por Clement et al. (2003), deveria ser possível identificar cultivos típicos dos centros e regiões hoje. Lleras et al. (em prep.) tentaram encontrar indícios do Centro de Diversidade da Amazônia Central durante seu estudo e concluíram que a diversidade vegetal catalogada é similar à encontrada em outros levantamentos em comunidades ribeirinhas na Amazônia, com as espécies exóticas sempre presentes em quantidade. A maioria das espécies agrícolas atribuídas ao Centro de Diversidade da Amazônia Central foi observada, embora algumas estivessem ausentes devido à época ou a falta de uso, o qual não foi sempre possível determinar. Isso sugere que as TPIs podem atuar como reservatórios, mas não é possível determinar se este efeito é devido à TPI ou à provável reocupação preferencial por comunidades tradicionais devido à riqueza do solo.

Efeitos de mercados

Alguns autores afirmam que a proximidade com um mercado consumidor (Blanckaert et al., 2004; Major et al., 2005) e, até mesmo, a modernização dos meios de produção (Altieri et al., 1987) podem comprometer a diversidade dos sistemas agrícolas tradicionais. German (2004), inclusive, acredita que a proximidade com um centro urbano importante não só incentiva como possibilita a mecanização e a intensificação de sistemas agrícolas inicialmente mais tradicionais. Na Comunidade do Santana, apesar dos pomares caseiros serem responsáveis pelo sustento das famílias que lá moram, fornecendo todos os produtos comercializados no centro urbano mais próximo, o relativo isolamento geográfico e técnico-científico da Comunidade mantém uma alta diversidade de espécies nos pomares caseiros, e seus donos usam práticas tradicionais de agricultura quase que exclusivamente (Kluppel, 2006).

A ausência de um mercado razoável em Santa Isabel do Rio Negro e as influências externas (a disponibilidade de um caminhão para transportar banana, uma espécie que não cresce bem em TPI, via um assentamento apoiado pelo governo) podem levar os agricultores a deixar TPI em um estado de semi-abandono, para buscar incentivos econômicos das agências de fomento (German, 2003b). Ao mesmo tempo em que essas decisões dos agricultores deixam a TPI sem uso, também contribuem para a conservação de suas propriedades químicas e físicas, quando comparado à natureza dos projetos de exploração intensiva para mercados específicos, como a produção de grama para jardins em Rio Preto da Eva, Amazonas (Major et al., 2005a).

No caso das TPIs, o homem que aí se instala aprende a otimizar sua utilização plantando espécies exigentes em nutrientes, cuja escolha depende de fatores culturais, das oportunidades de mercado no qual está inserida a população, de incentivos político-econômicos e dos gostos pessoais de cada agricultor (German, 2003b). Em alguns casos planta-se milho ou hortaliças, e no caso da Costa do Laranjal, Manacapuru, Amazonas, frutíferas como laranja, mamão e acerola (Kluppel, 2006).

A diversidade de espécies de plantas alimentícias em 16 pomares caseiros de sítios em TPI foi ligeiramente menor quando a produção do sítio foi destinada principalmente ao mercado (Major et al., 2005a). Alguns pomares em sítios produzindo para o mercado mantiveram uma alta diversidade de espécies, mas com uma tendência para a dominância de algumas espécies com alta demanda no mercado. Por exemplo, foram observados pomares com áreas de monocultivo de graviola, que tem um alto valor e demanda no mercado (Major et al., 2005a).

O futuro dos reservatórios genéticos

O futuro dos reservatórios depende de decisões humanas, frequentemente decisões inconscientes, como dividir um sítio com os filhos e construir mais moradias. Nos centros urbanos do interior, e especialmente nas capitais, o adensamento populacional reduz o espaço verde. Na zona rural, decisões sobre oportunidades de mercado têm tido efeitos similares. Vale lembrar que a maioria dos agricultores tradicionais e modernos não sabe que TPI é algo especial, exceto pelo fato de ser um solo mais rico em nutrientes que os solos adjacentes.

Lleras et al. (em prep.) consideraram a hipótese de TPI atuar como reservatório de recursos genéticos de cultivos nativos, mas concluíram que essa hipótese não se confirma nas duas comunidades com TPI estudadas. Em uma comunidade, a TPI está completamente dominada por limorana; no centro urbano de Silves, o rápido adensamento populacional parece contribuir para a extinção local de recursos genéticos. Um sítio dominado por limorana sugere que até a sucessão ecológica pode afetar a capacidade de um sítio de TPI atuar como reservatório genético. Major et al. (2005b) também encontraram roças ativas em TPI dominadas por espécies muito agressivas. Esse fato foi comprovado também em Curuá-Una, Pará, onde poucas espécies de gramíneas e leguminosas arbustivo-herbáceas dominaram as roças abandonadas, sugerindo a simplificação da diversidade vegetal na sucessão secundária (Almeida, obs. Pess.).

O futuro dos laboratórios experimentais

Os pomares caseiros, por serem sistemas dinâmicos com grande diversidade de espécies, são sistemas agrícolas que, com manejo adequado, mantêm sua produtividade relativamente estável ao longo do tempo, garantem a segurança alimentar das famílias e são sistemas compatíveis com o nível financeiro dos agricultores, por não requererem altos investimentos em tecnologia, como insumos agrícolas e maquinaria (Kumar & Nair, 2004). Por tais motivos, esses sistemas tendem a ser aqueles que mais perduram dentro de uma propriedade agrícola (Klüppel, 2006). A implementação e manutenção de pomares caseiros em áreas contendo TPI, com o desenvolvimento *in situ* de práticas de manejo voltadas para a manutenção da fertilidade do solo ao longo dos anos, certamente podem ser responsáveis pela conservação das manchas de Terra Preta submetidas a cultivo, bem como de suas plantas úteis. Uma dinâmica similar também acontece nas roças em TPI, mas o uso de pousio dá uma dinâmica diferente, pois a diversidade vegetal não é controlada somente pelo agricultor.

A herança biológica e a herança cultural

A abordagem etnobotânica geralmente considera o efeito das populações humanas sobre a distribuição geográfica de plantas úteis e a domesticação de algumas delas (Balée, 1994, 1998; Clement et al., 2003, 2005). No entanto, provavelmente muito antes do aparecimento da horticultura na Amazônia, os paleo-índios já disseminavam sementes de diversas plantas úteis, seja de forma passiva (no interior do trato digestivo) seja de forma ativa quando recolheram frutos e sementes de uma região e os transportaram a outras regiões (Guix, 2005).

As sementes grandes cobertas por polpas carnosas (megafrutos) provavelmente eram disseminadas originalmente por uma fauna hoje extinta que habitou a América do Sul até o final do Pleistoceno

(Janzen & Martin, 1982; Hallwachs, 1986). Entre esta megafauna pleistocênica abundavam mastodontes, litopternos, notoungulados e preguiças gigantes (Rossetti et al., 2004). Ao ocupar a Amazônia os paleo-índios “herdaram” as espécies que produzem estes frutos e suas sementes como um recurso alimentar abundante e de alta qualidade nutricional.

Desde há pelo menos 12.000 anos, os povos amazônicos têm disseminado sementes de palmeiras (ex: macaúba, tucumã, jauari, inajá, babaçu, pupunha, buriti, pataúá) ao longo de grandes distâncias, usando tanto os sistemas fluviais como caminhos na terra firme entre as cabeceiras. É possível que os paleo-índios tenham transportado sementes entre as bacias do Negro e do Orinoco (Guix, 2006). Morcote-Rios & Bernal (2001) acreditam que a distribuição de macaúba, que vai do Cerrado brasileiro ao México, ocorreu desta forma.

Os índios descartam sementes de palmeiras e de outras espécies de plantas, trazidas de outros lugares, ao redor dos seus assentamentos. De fato, não só descartam sementes de tamanhos médio e grande, mas também defecam sementes menores inteiras e em condições de germinar, como é o caso de diversas espécies de mirtáceas do gênero *Psidium* (Guix, 1996). O descarte ocorre justamente nos acúmulos de cinzas, matéria orgânica etc., que dão origem à TPI a partir do Holoceno médio. No caso dos assentamentos sedentários, o transporte continuado de sementes pode produzir concentrações de plantas úteis. É possível, pois, que o processo de domesticação de determinadas espécies de plantas pelos povos amazônicos tenha se iniciado a partir destas concentrações de plantas, como sugerido por Lathrap (1977), citando Anderson (1952), e analisado por Clement et al. (2003) em termos de TPI.

Atualmente é possível detectar antigos assentamentos indígenas por meio das concentrações de palmeiras e outras plantas úteis (Balée, 1989; Clement et al., 2003). Dessa forma, em diversas regiões da Amazônia cobertas por florestas de terra firme, como o Médio Rio Negro, é possível encontrar concentrações de plantas associadas à TPI. Concretamente, a zona de confluência dos rios Negro, Caurés, Branco, Jauaperi e Unini poderia ter funcionado como uma importante área de intercâmbio de espécies de plantas procedentes de regiões longínquas antes da chegada dos primeiros europeus (Guix, 2005). No entanto, considerando o papel biológico que os povos indígenas exerceram durante milhares de anos, é de se esperar que nem todas as áreas onde existem concentrações antropogênicas de plantas tenham TPI, especialmente no caso dos assentamentos indígenas itinerantes surgidos após a entrada dos europeus na Amazônia.

Recentemente, em florestas de terra firme, situadas na confluência dos rios Negro e Caurés, foram localizadas concentrações de plantas (tanto de espécies, em alguns casos, como de indivíduos), em áreas com TPI, e abundantes acúmulos de restos de cerâmica (Guix, 2005), provavelmente originários de sucessivos assentamentos indígenas num mesmo lugar. Também foram encontradas concentrações de plantas em áreas sem TPI próximas, mas que uma análise mais acurada poderia identificar como TM. Nesta e em outras regiões da Amazônia é preciso lembrar o papel dos caboclos como disseminadores de sementes de espécies autóctonas e alóctonas nos últimos 200 anos.

Direções para a Pesquisa

É evidente que o número de estudos sobre a diversidade vegetal em solos antrópicos ainda é muito pequeno, o que limita nossas possibilidades de detectar padrões e tendências. Acreditamos que se etnobotânicos trabalhando na Amazônia providenciassem análises do solo de suas parcelas, o número de estudos relevantes poderia ampliar mais rapidamente, pois a maioria dos pomares caseiros na região está localizada em TPI ou está transformando-se em TP ou TM via práticas comuns de manejo desses pomares.

Estudos sobre a composição, diversidade e similaridade florística entre os diversos sítios de TPI e TM na Amazônia são essenciais, sempre relacionando-os com os sítios e as florestas adjacentes em solos não antrópicos.

Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas

Juscilene A. Costa
Dirse Clara. Kern
Marcondes Lima da Costa
Tarcísio Ewerton. Rodrigues
Nestor Kämpf
Johannes Lehmann
Francisco Juvenal Lima Frazão

Na Amazônia é considerável a existência de áreas em que o solo foi modificado pelo homem pré-colombiano. Tais solos são conhecidos como Terra Preta Arqueológica (TPA), Terra Preta de Índio, Terra Preta (TP) ou Arqueo-Antrossolo (Kern & Kämpf, 1989; Kämpf et al., 2003; Kämpf & Kern, 2005). Essas áreas geralmente correspondem a locais de antigos aldeamentos e por isso são denominadas sítios arqueológicos. Apresentam solos férteis que parecem não exaurir seu conteúdo químico mesmo em condições de floresta tropical, o que contrasta com a maioria dos solos muito intemperizados, de grande ocorrência nesta região. Por essa razão essas áreas são freqüentemente procuradas pelas populações locais para cultivos de subsistência como mandioca, milho, banana, mamão etc., fato que dificulta sensivelmente o estudo referente aos costumes do homem pré-histórico, uma vez que a camada de ocupação humana é constantemente revolvida (Kern, 1996).

Embora a identificação das áreas de ocorrência das Terras Pretas seja simplificada por alguns aspectos de sua morfologia, como a cor escura e presença de fragmentos cerâmicos e/ou artefatos líticos, fatores não aparentes, como as relações geoquímicas dos elementos como Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mn e C orgânico em relação aos solos adjacentes são fundamentais na taxonomia da Terra Preta. Vale ressaltar que, para tal compreensão, a aplicação de procedimentos analíticos geoarqueológicos, separadamente ou associados, é fundamental na elucidação dos processos que levaram à formação das Terras Pretas.

O processo de formação das Terras Pretas é objeto de distintas interpretações. Hartt (1885) denomina-as solos vegetais, para os quais os índios eram atraídos em decorrência da elevada fertilidade natural; para Cunha Franco (1962), elas teriam sua origem em lagos antigos, em cujas margens os índios habitavam. Os solos com Terra Preta são antigos assentamentos indígenas, formados a partir da ocupação humana pré-histórica (Gourou, 1950; Hilbert, 1955; Sombroek, 1966; Simões & Correa, 1987; Kern & Kämpf, 1989). Ranzani et al. (1962), Andrade (1986), e Glaser et al. (2001) enfatizam que a elevada fertilidade das TPs deve-se à adição intencional de nutrientes no solo através de práticas de manejo. De modo geral, as TPs possuem altos teores de elementos como Ca, Mg, P, bem como Cu, Zn, Mn, C orgânico (carvão), soma e saturação de bases elevadas, diversidade microbiológica e apresentam-se mais estáveis e melhor estruturadas em relação as adjacências, além de ocorrerem sobrepostas a diversas classes de solos, com predominância nos Latossolos.

Este trabalho propõe-se a analisar as transformações químicas resultantes de padrões de ocupação humana pré-histórica que produziram a Terra Preta e procura entender os processos geoquímicos que promoveram a sua formação, utilizando-se, como exemplo, de pesquisas realizadas nas regiões de Cachoeira-Porteira, Município de Oriximiná e Caxiuanã, Municípios de Portel e Melgaço, no estado do Pará.

Técnicas e Procedimentos Analíticos (Mineralógicos e Geoquímicos) em Sítios Arqueológicos

Segundo Costa et al (2003), várias são as técnicas das ciências da Terra que podem e devem ser utilizadas nos estudos arqueológicos, procedimentos denominados de geoarqueologia. Pode-se utilizar **informações geológicas**, pois um mapa geológico da região de interesse pode ser uma ferramenta importante no entendimento do processo de formação das TPs e sua relação com paisagem atual ou anterior. Um mapa geológico que focaliza o material de superfície será importante na avaliação dos componentes inorgânicos do solo com TP. Também pode ser de interesse, obter informação sobre a área fonte das matérias-primas usadas na fabricação da cerâmica; como exemplo podemos citar Cachoeira Porteira, na região do Baixo Amazonas, cuja cartografia geológica foi usada para identificar a fonte de feldspato e fragmentos de rocha graníticas encontrados nos artefatos cerâmicos dos sítios. Os afloramentos de granitos encontram-se a menos de 3 km dos sítios de TP (Costa et al 2004a e 2004b). O **microscópio óptico** é uma ferramenta muito útil para estudar solos que contêm artefatos cerâmicos e líticos. Este tipo de informação pode ser usado para identificar a fonte de minerais ou matéria orgânica trazida para a TP. Imagens capturadas por microscópio podem ilustrar aspectos do solo como microestrutura, cor, tamanho de grão, morfologia cristalina, minerais e tecidos orgânicos. Técnicas também eficientes na identificação dos minerais que compõem esses solos e os artefatos são a **Difratometria de raio-x** e a **micro difratometria**; com elas, até mesmo podem ser identificados os minerais raros e minerais equivalentes nos chamados procedimentos de micropreparação. Em geral, a difração de raio-x, quando empregada com microscópio, pode ajudar a identificar os minerais encontrados em frações muito pequenas ou cristalitos. Em vários casos eles consistem em um intercrescimento de argila, oxi-hidróxidos de ferro e matéria orgânica. O curto tempo de formação das TPs representa uma limitação à formação de minerais cristalinos completamente formados; é possível que os solos ainda estejam em formação ou, em alguns casos, sofrendo degradação, o que diminui as chances de desenvolver substâncias cristalinas. **Análises térmicas** são técnicas complementares usadas para identificação e quantificação de minerais. Como a identificação mineral às vezes é limitada por difração de raio-x e microscópio óptico, as análises térmicas podem ser usadas para melhorar a caracterização mineral, especificamente de minerais de argila (Smykatz-Kloss, 1974) encontrados em cerâmica cuja confecção deu-se sob altas temperaturas (queima). Outra técnica complementar na identificação e quantificação mineral é a **Espectrometria de infravermelho**. Detalhes de técnicas e suas aplicações para mineralogia e até substâncias amorfas são apresentados por Farmer (1974). Como os solos e artefatos cerâmicos apresentam fases cristalinas amorfas ou de baixa cristalinidade e até matéria orgânica que não pode ser identificada através de difração de raio-x, a espectrometria de infravermelho é uma alternativa viável na identificação e quantificação deste material. Outrossim o **Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)** é uma ferramenta que pode melhorar o estudo mineralógico das TPs. Ele é satisfatório não somente na caracterização complementar dos materiais inorgânicos fino-granulados (minerais e os seus produtos equivalentes), como também na dos materiais orgânicos que constituem a maioria dos solos com TP. Em muitos casos é a única técnica capaz de capturar imagens de alta qualidade da fração fina e cristalina. Apresenta oportunidades fantásticas para a investigação de artefatos cerâmicos. Combinado com microscópio óptico e difração de raio-x, o MEV permite obter informação sobre a matéria prima da cerâmica, minerais, novas fases minerais, transformação mineral e abundância, tipos de tecidos orgânicos e sua distribuição espacial, reações químicas, estabilidade mineral etc.. **Análises químicas**: para melhorar entendimento dos processos de formação e transformação das TPs, é necessário realizar não só análises mineralógicas, mas também análises químicas sistemáticas, quantitativas e completas para determinar a composição química dos solos e seus artefatos. Atualmente, há muitas técnicas modernas e eficientes empregadas em química e geoquímica que podem ser aplicadas a materiais arqueológicos (solos, artefatos líticos e cerâmica) com grande sucesso. Conhecer a composição química é importante não só para a caracterização química do material investigado, mas também para a identificação da área fonte do material, os tipos de transformações que experimentou com o passar do tempo, suas reações

químicas e mineralógicas, além das opções para restauração ou conservação dos artefatos. O uso de procedimentos clássicos, bem como de procedimentos modernos como AAS (atomic absorption spectrometry), fluorescência de raios x, ICP-AES (induced coupled plasma-atp,oc emission spectromey) e ICP-MS induced coupled plasma massa spectrometry). A fluorescência de raios x (FRX) é uma ferramenta muito eficiente em análise química, tanto para os elementos maiores como para os elementos-traço. Atualmente o equipamento mais versátil e de elevado custo/benefício é o espectrômetro de massa acoplado ao plasma (ICP-MS). Com ele é possível realizar análises multi-elementares simultâneas para mais de 50 elementos na mesma solução e em uma gama grande de concentrações, sem a necessidade de diluir a solução. Ele também permite obter limites de detecção muito baixos, menor efeito matriz e interferências de elemento que o ICP-AES; sendo, portanto, a técnica mais adequada para os estudos geoquímicos multi-elementares de solos tipo TP e seus materiais contidos. **Análises de fase ou Microanálises** podem trazer importantes informações na caracterização de micro-fase mineral ou orgânica. Para tal são indicados a micro-difração de raios X, o ICP-MS, o MEV-EDS e, claro, a microsonda eletrônica (Reed, 1995; Longo, 1995). A microsonda eletrônica é largamente empregada para a caracterização química de fases minerais em rochas e solos como também em novo material da indústria (Reed, 1995, Perkins e Pearce, 1995), superando o espectrômetro de energia-dispersiva acoplado a um microscópio eletrônico de varredura (MEV/EDS) (Williams, 1987; Kevex, 1989; Bain et al., 1994).

Aspectos Físicos e Morfológicos das Terras Pretas

Embora os sítios com Terras Pretas ocorram sobre diversas classes de solo, seu maior registro é sobre Latossolos (Oxisols) e Argilossolos (Ultisols), que juntos recobrem aproximadamente 70% da Amazônia. Esses solos são profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa e com baixa reserva de nutrientes essenciais às plantas (Silvia et al, 1970; Rodrigues, 1996; Rodrigues et al, 1991). As TPs também podem ser encontradas em outras classes de solos: Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos Ferrocárbicos, que são essencialmente arenosos; Nitossolos Vermelhos que são bem drenados, profundos, de nível alto de fertilidade natural e textura muito argilosa (Smith, 1980); Cambissolos, que apresentam textura média argilosa, são profundos e bem drenados; Argissolos Plústicos e Plintossolos que são moderada e imperfeitamente drenados, de baixa (fertilidade) reserva de nutrientes, de textura média/argilosa e argilosa; Neossolos Litólicos, bem drenados, rasos, de textura média (Falesi, 1970).

Nas cartas de solos que abrangem a Região Amazônica, apesar da freqüente ocorrência de solos com TP, estes são catalogados como inclusões e abrangem normalmente de 2 a 3 ha (Silva et al., 1970 e Kern et al., 2003). Excepcionalmente, em alguns locais, podem alcançar áreas superiores a 80 ha (Hilbert, 1955). As áreas ocupadas pelas TP além da grande variação quanto à espessura e composição química, também apresentam grande variabilidade quanto à extensão. Em Caxiuanã, no Pará, a delimitação da terra preta revelou áreas de 0.01 e 3.82 ha nos Sítios Flechal e Ilha de Terra, respectivamente. Contrastam com o Sítio Tapajós, no Pará, com cerca de 200 ha (Sombroek, 1966) e 400 ha do Sítio Santarém (Roosevelt, 2000).

De acordo com Kern (1996), Kern & Costa (1997), Lima (2001), Kern et al. (2003), Kämpf & Kern (2005), os horizontes A das Tps, que correspondem à camada de ocupação humana (lembrando que a superfície atual não necessariamente precisa ser a mesma da ocupação antiga), apresentam coloração mais escura, podendo variar de preta, cinza muito escuro a bruno escuro (N2/; 2,5YR2/0; 5YR2,5/1; 7,5YR 2/0; 10YR 2/0 a 3/4), textura mais arenosa e melhor estruturada e presença de fragmentos de cerâmica e/ou artefatos líticos, em relação às áreas adjacentes. Kern et al. (2003) declaram que a espessura do horizonte antrópico ou do refúgio ocupacional, em 57% dos sítios arqueológicos registrados (n = 180), apresentam de 30 a 60 cm de espessura, podendo eventualmente chegar a 2m. Menos do que os solos da floresta, geralmente de 10 a 15 cm. Em Caxiuanã, a espessura do horizonte antropogênico em transversais de cinco sítios com TP evidenciou grande variação interna, em geral, de 18 a 47 cm. As variações na espessura do refúgio ocupacional podem ser resultantes de processos de

melanização pelo escurecimento do horizonte superficial em função da irregular adição de matéria orgânica e processos de bioturbação (Rodrigues et al., 2003; Kämpf et al., 2003; Kern et al., 2005) (Fig. 1), ou ainda, refletir a diversidade de formas de organização, uso e permanência de grupos pré-colombianos na Amazônia. De modo que a variabilidade na espessura reforça a idéia de diversidade de atividades discutida por Kern (1988, 1996), que são relacionadas ao preparo de alimentos, ciclos agrícolas e descarte de resíduos orgânicos.

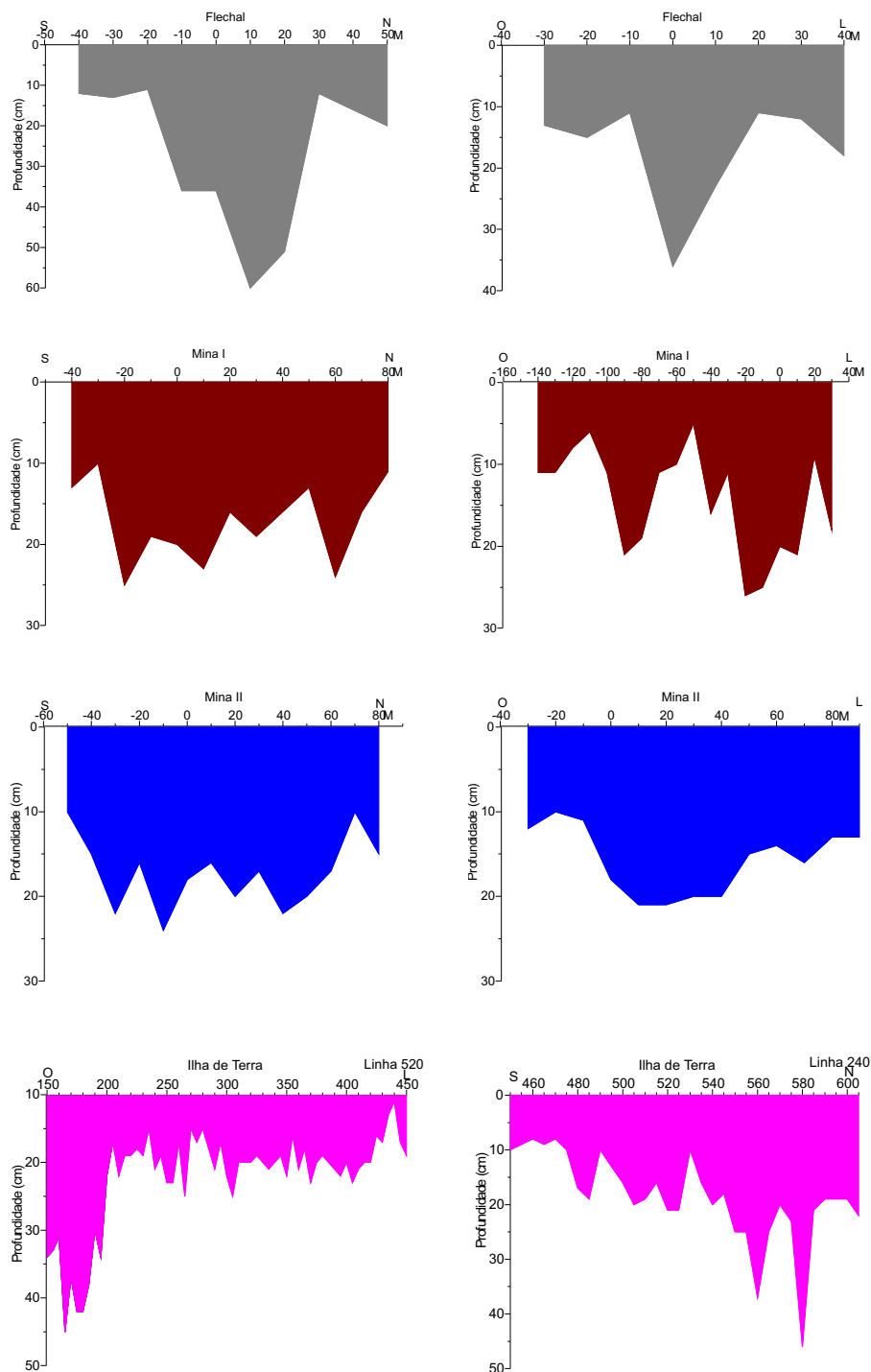


Fig. 1. Variabilidade de espessura do horizonte antropogênico em transversais, Caxiuanã-PA (Costa, 2003).

A espessura dos horizontes de transição AB e BA nas TPAs variam de 20 a 60 cm. Os horizontes apresentam cores mais escuras, variando de preto (10YR 2/1) a bruno muito escuro (10YR2/2), com textura mais arenosa e melhores estruturados do que as áreas circunvizinhas. Os horizontes B dos perfis de solos das TPs e adjacências em geral não apresentam grandes variações em suas características morfológicas e físicas. A granulometria das TPs revela predomínio da fração areia nos horizontes superficiais e transição (Tabela 1). Os valores chegam a 830 g kg⁻¹ no horizonte A1 na Ilha de Marajó e 630 g kg⁻¹ no horizonte A2 na Região de Caxiuanã. Enquanto nos horizontes de transição e B os teores de areia diminuem à medida em que as camadas se aprofundam.

Tabela 1. Características físicas e morfológicas das terras pretas amazônicas.

| Horizonte | Prof. Cm | Cor | Areia | Silte | Argila | Classe textural |
|--|----------|----------|-------|-------|--------|-----------------|
| AMARELO Distrófico antropogênico (Silva et al., 1970) Manacapuru, Amazonas | | | | | | |
| A1 | 0-8 | 10YR3/1 | 480 | 150 | 370 | Média |
| A2 | 8-31 | 10YR3/1 | 440 | 130 | 430 | Argilosa |
| AB | 31-63 | 10YR3/2 | 380 | 120 | 500 | Argilosa |
| Bw1 | 63-123 | 10YR6/6 | 310 | 40 | 650 | Muito argilosa |
| NEOSSOLO QUARTZARÊNICO órtico antropogênico. (IDESP, 1974). Marajó, Pará | | | | | | |
| A1 | 0-13 | 10YR3/2 | 830 | 120 | 50 | Média |
| A2 | 13-47 | 10YR3/1 | 800 | 140 | 60 | Média |
| A3 | 47-85 | 10YR3/1 | 800 | 140 | 60 | Média |
| AC | 85-110 | 10YR4/3 | 840 | 110 | 50 | Média |
| CAMBISSOLO CRÔMICO Tb Eutrófico antropogênico (Kern 1988) Cachoeira Porteira, Pará | | | | | | |
| AI | 0-7 | N2/ | 550 | 150 | 300 | Média |
| A2 | 7-27 | N2/ | 560 | 130 | 310 | Média |
| AB | -110 | 10YR4/2 | 530 | 100 | 370 | Argilosa |
| Bi1 | 110-148 | 10YR6/6 | 420 | 100 | 480 | Argilosa |
| LATOSSOLO AMARELO Eutrófico antropogênico, (Lima, 2001) Iranduba, Amazonas | | | | | | |
| A1 | 0-30 | 2,5Y2/0 | 520 | 130 | 350 | Média |
| A2 | 30-60 | 2,5Y2/0 | 450 | 190 | 360 | Média |
| AB | 100-130 | 10YR3/1 | 400 | 140 | 460 | Argilosa |
| BW | 130-150 | 10YR 3/6 | 390 | 120 | 490 | Argilosa |
| LATOSSOLO AMARELO Eutrófico antropogênico (Oliveira Jr et al., 2002) Trairão, Pará | | | | | | |
| A1 | 0-37 | N2/ | 598 | 218 | 184 | Média |
| A2 | 37-62 | 10YR2/1 | 631 | 165 | 204 | Média |
| BA | 129-177 | 10YR4/2 | 486 | 129 | 385 | Argilosa |
| Bw1 | 177-217 | 10YR5/4 | 450 | 125 | 425 | Argilosa |

Pedogeoquímica das Terras Pretas Amazônicas

Os solos antrópicos caracterizam-se, quando confrontados com os solos amazônicos, por possuírem elevados teores de Ca, Mg, P, Zn, Mn, Cu e C orgânico, bem como nos valores mais altos de pH. Por isso, estes têm sido os componentes mais comumente investigados nesses solos. Análises

multielementares demonstraram, no entanto, que elementos como aqueles acima e outros, numa associação como de P_2O_5 , MgO , CaO , Ba , Cl , Sr , Fe_2O_3 , Na_2O , As , Cd , Co , Cr , F , Ga , Pb e V , podem ser de grande importância para avaliar os possíveis padrões de assentamentos estabelecidos pelo homem pré-histórico.

O acréscimo de resíduos orgânicos durante o processo de formação dos solos antropogênicos provocou modificações significativas no solo, tanto no sentido vertical (perfil) quanto no horizontal (areal). O estudo da variabilidade de elementos em profundidade é amplo (Fig. 2). Cunha Franco (1962), Ranzani *et al.* (1962), Sombroek (1966), Falesi (1970, 1972 e 1974), Silva *et al.* (1970), Vieira (1975); Bennema (1977), Zech *et al.* (1979), Smith (1980), Eden *et al.* (1984), Kern & Kämpf (1989), Pabst (1991), Kern (1996) confirmam a alta fertilidade desses solos, que se destacam em relação àqueles comumente encontrados na região. Em todas as amostras analisadas os teores de Ca apresentam-se mais elevados que Mg , K e Na , pela sua maior disponibilidade advinda dos materiais introduzidos nas áreas de descarte e por sua maior afinidade com as superfícies de troca do solo. O valor máximo, de $39,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, foi registrado nas TPs de Monte Alegre (Falesi, 1970) e o mínimo, de $0,52 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em TPAs da Colômbia (Eden, 1984). Os teores mais elevados de Mg foram detectados em TPs da Região de Cachoeira-Porteira e Belterra, na ordem de $7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Kern & Kämpf, 1989 e Pabst, 1991). Os teores elevados de cátions, especialmente cálcio e magnésio, obtidos a partir da decomposição da matéria orgânica resultam no pH elevado, na alta capacidade de troca de cátions (CTC), soma e saturação de bases das Tps.

Os baixos teores de fósforo disponível nos solos amazônicos são um dos principais fatores limitantes para o desenvolvimento de uma agricultura de produção e mesmo de subsistência. A deficiência de fósforo é encontrada em 90% dos solos da Amazônia, porém o nível de deficiência depende diretamente do tipo de cultura (Rodrigues, 1996). Dentre os elementos diagnósticos das TPs o P disponível ou total destaca-se como um dos mais importantes. O teor máximo desse elemento, com cerca 7.455 mg kg^{-1} de solo no horizonte A, foi observado em Itaituba-Pa, decrescendo em profundidade (Oliveira Jr *et al.*, 2002). Teores significativamente menores foram observados em Cachoeira Porteira variando de 30 a 448 mg kg^{-1} de solo no horizonte superficial (Kern, 1988). Quanto ao P total (P_2O_5), as TPA's de Caxiuanã, apresentam valores elevados, especialmente, nos Sítios Mina II, Caridade e Flechal, que possuem, no horizonte superficial, teores de 2.800, 2.900 e 2.680 mg kg^{-1} de solo, respectivamente (Rodrigues *et al.*, 2003; Kern *et al.*, 2005). Conforme Kämpf *et al.* (2003) e Kämpf & Kern (2005), esses valores estão associados à ocupação humana pré-histórica, haja vista, que P e Ca podem ser encontrados em restos de vegetais (mandioca, açaí, bacaba etc), animais (ossos e excrementos) e resíduos de alimentos.

As TPs são formadas por um grande depósito estável de matéria orgânica, contendo aproximadamente 30% de carbono preto, originado da queima incompleta da biomassa, sendo este, provavelmente, o responsável pela alta capacidade de estoque de nutrientes no solo (Glaser *et al.*, 2000). Os conteúdos máximos de carbono orgânico foram encontrados em TPs de Trairão e Belterra, chegando a alcançar valor máximo de 243 e 210 g kg^{-1} , respectivamente (Oliveira Jr *et al.*, 2002; Pabst, 1991). Para Pabst (1991), a matéria orgânica das TPA's, além de diferir em termos de quantidade, também difere em sua estruturação: é mais estável e ainda mais rica em componentes organo-metálicos que a dos Latossolos Amazônicos. Em Caxiuanã, os teores mais elevados foram registrados nos Sítios Manduquinha e Ilha de Terra com 40,9 e $42,8 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, enquanto nas adjacências reduz-se para 30,1 e $8,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. De acordo com Kämpf & Kern (2005), as Terras Preta Amazônicas apresentam valores médios de $38,9 \text{ g kg}^{-1}$ para C orgânico; 507 mg kg^{-1} para P disponível; $9,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para $Ca+Mg$ e pH 5,6 contrapondo-se às médias de Latossolos e Argissolos de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ para C orgânico; $1,7 \text{ mg kg}^{-1}$ para P disponível; $1,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para $Ca+Mg$ e pH 4,5.

Os teores de elementos como Mn , Cu e Zn destacam-se com teores elevados, quando comparados com o horizonte A das imediações não modificadas, enquanto não apresentam diferenças significativas no horizonte B, reforçando a relação com o material adicionado, especialmente a estrutura da matéria orgânica. Conforme Kern *et al.* (1999), as folhas de palmeiras utilizadas na cobertura de habitações, que são renovadas periodicamente, podem ser uma fonte importante de Mn , Zn , K , Ca e Mg para o solo.

A Figura 2 representa uma pequena amostra das modificações impostas ao solo pela intensidade da ação humana somada aos processos pedogenéticos, as quais não se limitam aos horizontes superficiais e de transição, mas podem chegar a grandes profundidades.

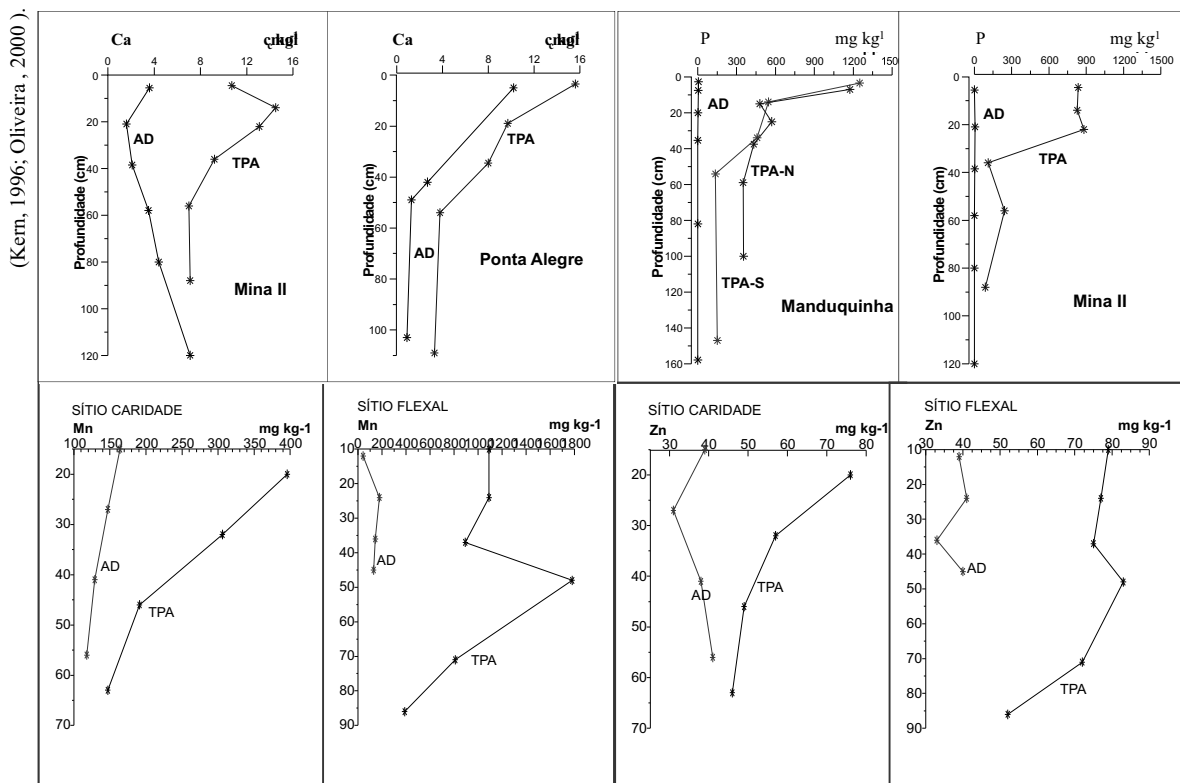


Fig. 2. Distribuição vertical dos teores de Ca, P, Mn e Zn em Terra preta e Adjacências, Caxiuanã-PA.

As análises químicas feitas em solos com Terra Preta mostram que o sítio arqueológico por si só é uma grande anomalia que se estende tanto em superfície como em profundidade, com variações em seu interior. Na Região de Cachoeira-Porteira, Oriximiná Pará, em trabalhos sistemáticos efetuados ao longo de transversais em três sítios com TP, os teores de C orgânico, Ca, Mg, P, Zn e Mn indicam áreas preferenciais para a deposição de dejetos (Kern, 1988; Kern & Kämpf, 1989; Kämpf & Kern, 2005). As áreas de maiores concentrações de Ca, C orgânico e P foram interpretadas como locais de maior aporte de material orgânico (Fig. 3).

Da mesma forma que em Cachoeira Porteira, em Caxiuanã verificou-se que os teores de Ca, Mg, Zn, Mn, Cu e P também, apresentaram alternância de locais com alta e baixa concentração ao longo das transversais, porém significativamente superiores aos dos solos circunvizinhos (Fig. 4). Ao mesmo tempo, se observou comportamento similar para a distribuição areal e espacial de Ca, Mg, Zn, Mn, Cu e P. A Região de Caxiuanã, além de ser atualmente uma das áreas de maior ocorrência de Terra Preta, um dos seus sítios, o Ilha de Terra contempla em sua periferia “terra mulata”, cuja morfologia difere da TP, apresentando, porém, características química semelhantes.

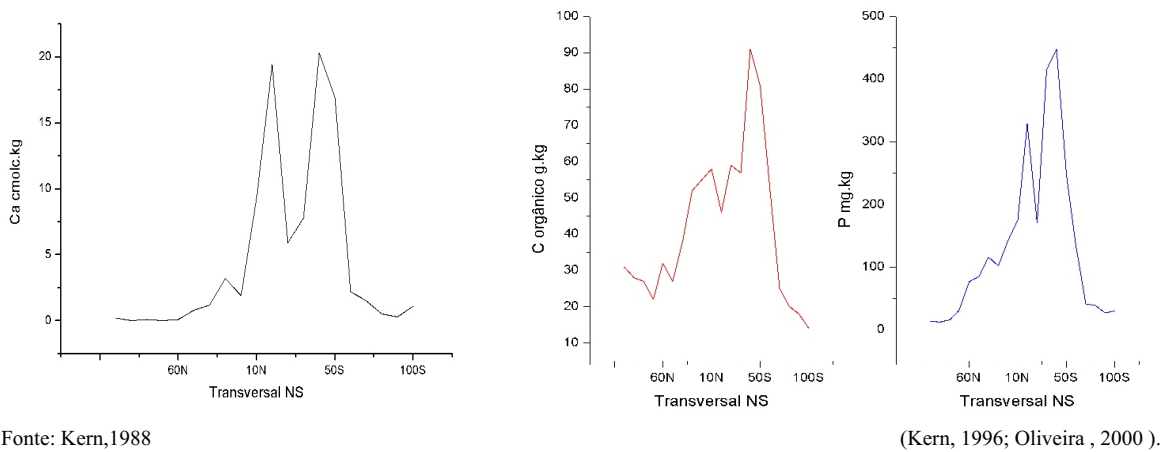


Fig. 3. Variabilidade horizontal de teores de Ca, C orgânico e P no horizonte A na transversal NS, Oriximiná-PA.

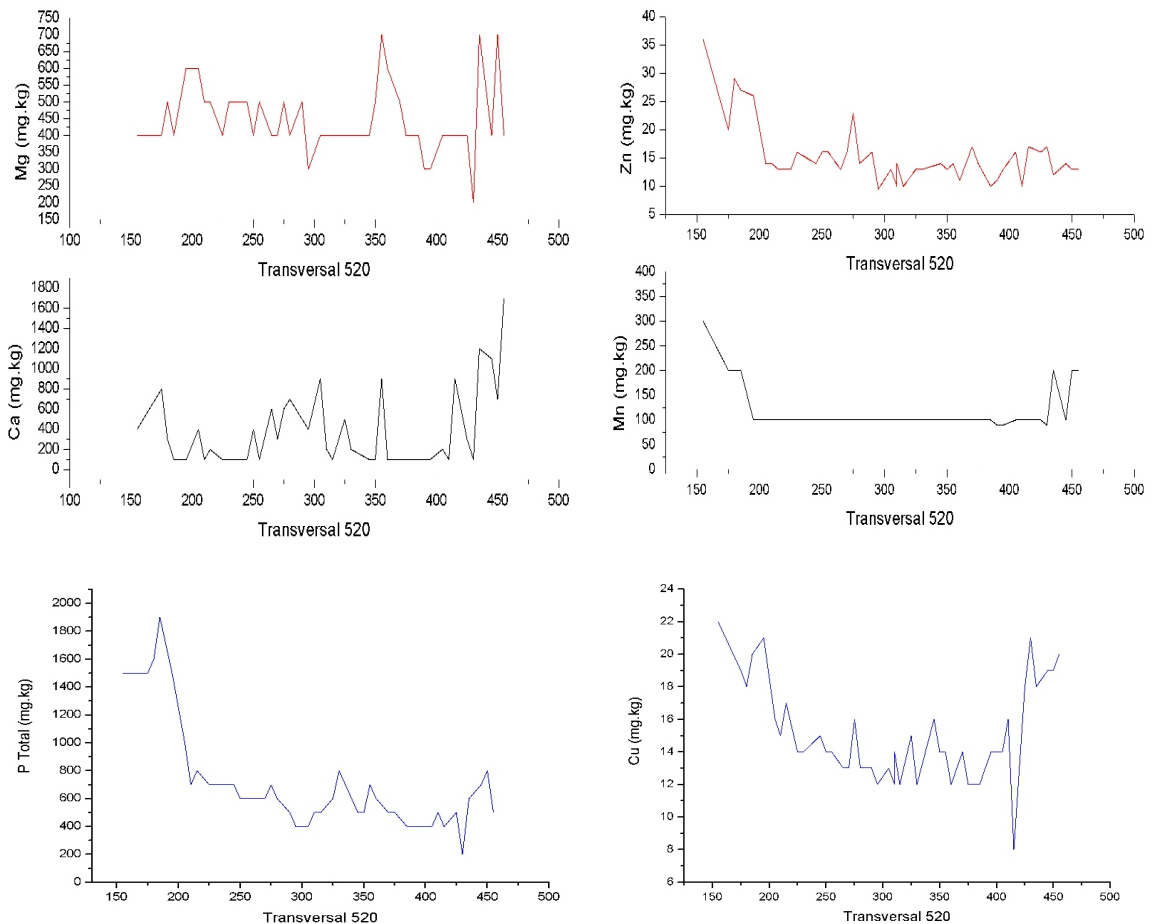


Fig. 4. Variabilidade horizontal de teores de Mg, Ca, P, Zn, Mn e Cu no horizonte A, em transversais no Sítio Ilha de Terra, Caxiuanã-PA (Kern, 1988).

O estudo geoquímico dos solos modificados pela ocupação humana pré-histórica na Amazônia apontam concentrações elevadas de P_2O_5 , MgO , CaO , K_2O , Ba , Cu , Cl , Mn , Sr e Zn , contrapondo-se às áreas circunvizinhas onde os teores destes elementos são baixos, de modo que, estas associações sofreram fortes transformações pela permanências desses grupos e, portanto, relacionadas à ocorrência de TPs. Já os teores de Fe_2O_3 , Na_2O , As , Cd , Co , Cr , F , Ga , Pb e V , bem como B , Hg , Nb , Sc , Y e Zr são semelhantes entre os solos TP e solos adjacentes, insinuando tratar-se da mesma unidade pedológica, que foi modificada pelo homem, e que estes componentes químicos não fazem parte dos materiais adicionados, ou seja, dos rejeitos. Sendo assim, levantamentos geoquímicos sistemáticos efetuados em sítios arqueológicos com Terra Preta de Índio, possibilitam determinar hipoteticamente o padrão de assentamento pré-histórico dos grupos que habitaram a região, indicando locais específicos e diferenciados onde faziam descarte de material. Nos casos específicos de Cachoeira Porteira e Caxiuanã, houve predomínio de descarte de resíduos rico em Mg , Ca e P , associados aos restos de alimentos, principalmente de origem animal, como ossos (Fig. 5). Segundo Kern, (1996), dados etnográficos enfatizam que vários grupos que habitaram a região faziam o descarte de restos de alimentos na parte de trás de suas casas, onde se localizava a cozinha. As práticas funerárias também podem ter tido um papel relevante no aumento de determinados elementos químicos no solo (principalmente o cálcio e o fósforo, componentes principais dos ossos), pois registros etnográficos e arqueológicos mostram que vários grupos enterram seus mortos dentro da própria casa, ou ainda no centro da aldeia (Migliazza, 1964; Ramos, 1971; 1980).

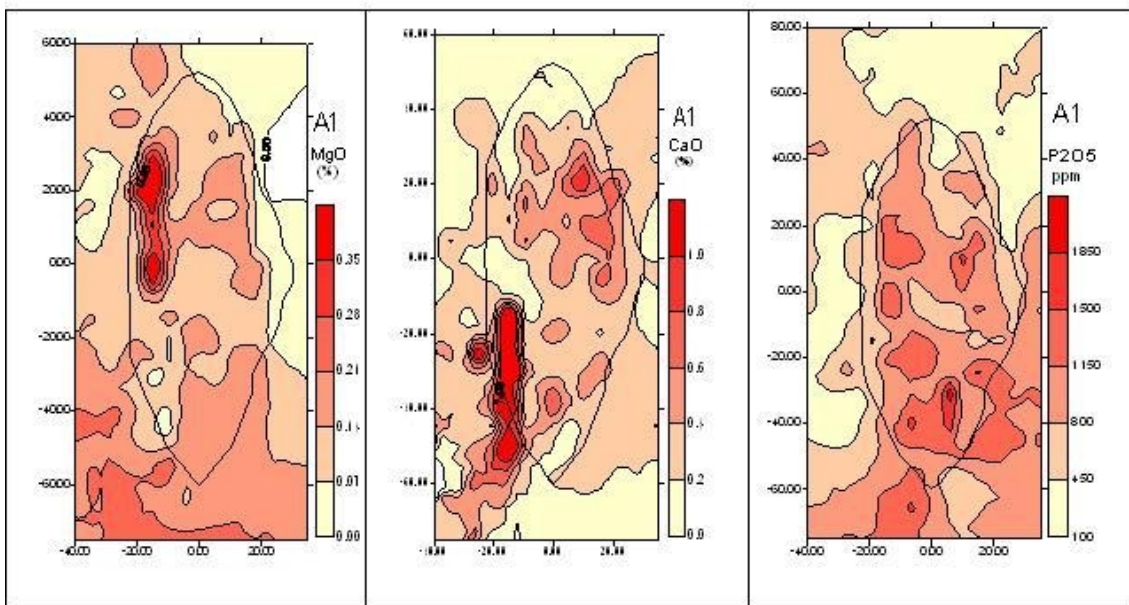


Fig. 5. Distribuição areal de MgO , CaO e P_2O_5 no Sítio Arqueológico Manduquinha, Caxiuanã-Pa (Kern, 1996).

Os Sítios Manduquinha e Ilha de Terra, ambos em Caxiuanã, compreendem exemplos de estudos geoquímicos sistemáticos em sítios com solo de Terra Preta. Uma análise do solo de TP evidenciou anomalias de Zn , Mn e Cu , as quais podem estar relacionadas com a matéria orgânica vegetal utilizada nas coberturas e paredes das casas. Foram identificados, também, locais com teores relativamente baixos de elementos indicadores das TPs, local este que poderia ser uma praça ou área de maior circulação, acesso para a mata e para as principais fonte de água para abastecimento do grupo por isso deixado intencionalmente mais limpo (Kern, 1996; Meireles, 2004).

Considerações Finais

O descarte do lixo (com queimas sucessivas e graduais), as práticas funerárias e os vegetais utilizados como fonte de matéria-prima para construção, dos povos que habitavam a Amazônia tiveram papel relevante para o aumento de matéria orgânica no solo e conseqüentemente o seu enriquecimento em cálcio, magnésio, zinco, manganês, fósforo e carbono. Esses resíduos orgânicos transformaram tanto as propriedades químicas como as propriedades físicas do solo. Com a humificação da matéria orgânica, elementos químicos foram liberandos para a solução do solo, os quais poderiam ter sido adsorvidos nos complexos de troca catiônica, absorvidos pelas plantas ou lixiviados. Quanto às propriedades físicas, a matéria orgânica adicionada influenciou diretamente a formação de agregados, reduziu a coesão e a plasticidade e contribuiu para o arejamento e friabilidade do solo. Assim os processos pedogenéticos, agindo intensamente sobre as áreas abandonadas pelo homem pré-histórico, que continham grande acúmulo de material orgânico, fizeram com que elementos como cálcio, magnésio, fósforo, zinco, manganês e cobre fossem incorporados ao solo. Com o passar do tempo, houve uma complexação da matéria orgânica com íons de cálcio, revestindo as partículas do solo (Sombroek, 1966), formando então as Terras Pretas. Atualmente esses locais são utilizados pelos povos da floresta para seus roçados ou como locais de moradia.

Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo

Beáta Emöke Madari
Tony Jarbas Ferreira Cunha
Etelvino Henrique Novotny
Débora Marcondes Bastos Pereira Milori
Ladislau Martin Neto
Vinicius de Melo Benites
Maurício R. Coelho
Gabriel A. Santos

A matéria orgânica, é um componente do solo que, em comparação à fase mineral, está presente em menor quantidade, de modo que, em geral, de 1-5% do solo é composto pelas frações orgânicas, sendo exceção alguns solos em condições ambientais específicas, como os Organossolos, que contêm mais de 200 g.kg⁻¹ matéria orgânica (mais de 20% em massa) com espessura mínima de 40 cm (Embrapa, 1999). A distribuição da matéria orgânica no solo é variável, tanto em profundidade (ao longo do perfil do solo), quanto horizontalmente. Esta distribuição do carbono no solo depende de vários fatores, sendo exemplos o tipo do solo, o relevo, a cobertura ou uso do solo, as condições climáticas, a vegetação natural predominante na área, as práticas de uso e manejo do solo, entre outros. Além da quantidade, a qualidade da matéria orgânica é também de grande importância, uma vez que o carbono é fonte de nutrientes e energia para os microrganismos, além de condicionar funções do solo. Entre essas, há um destaque para retenção de água, estrutura do solo e sua estabilidade, porosidade, retenção e disponibilidade de micro e macronutrientes, devido ao fato de os teores de MO regularem a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente, em solos tropicais, cuja fase mineral é dominada por minerais (caulinita, óxidos de ferro e alumínio, como goetita e hematita) de baixa atividade química, quando compara à fase mineral (vermiculita, montmorilonita, ilita) dos solos encontrados em regiões de clima temperada. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo. Assim, uma variação na quantidade e qualidade da matéria orgânica pode causar grande efeito sobre as propriedades e processos que ocorrem no sistema solo. A matéria orgânica pode, ainda, desempenhar importantes papéis na ciclagem de nutrientes, cuja dinâmica é pouco conhecida. Portanto, o manejo da matéria orgânica visando à conservação e melhoria de sua qualidade é fundamental para a manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas tropicais.

A maior parte dos solos agricultáveis na Região Amazônica são ácidos, com baixa CTC, conseqüentemente, com baixa fertilidade e potencial produtivo. O grau de fertilidade do solo, por ser considerado baixo, é, portanto, um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade ambiental e econômica.

Nessa mesma região, ocorrem os solos comumente denominados de Terra Preta de Índio, ou somente Terra Preta, que apresentam horizonte A antrópico (Au) ou arqueo-anthropedogênico (traduzido de inglês: *archaeo-anthropedogenic*), denominação para esse horizonte proposta por Kämpf et al. (2003). Várias hipóteses foram propostas a respeito dos processos de formação das Terras Pretas, mas a mais aceita atualmente é a que preconiza que estes solos teriam sido formadas pelo homem pré-histórico (Woods e McCann, 2001), embora, ainda, não há opinião consolidada se a ação humana na formação desses solos era intencional (Neves et al., 2003). Os locais denominados de sítios arqueológicos foram locais de moradia no passado pré-histórico que serviram de verdadeiros depósitos de resíduos de origem vegetal (folhas e talos de palmeiras diversas, cascas de mandioca e sementes) e de origem animal (ossos, sangue, gordura, fezes, carapaças de quelônios e conchas), além

de uma grande quantidade de cinzas e resíduos de fogueiras (carvão vegetal). Esse grande aporte de material orgânico, provavelmente, tenha contribuído para a formação de solos altamente férteis, com teor elevado de matéria orgânica estável de origem pirogênica e com elevados teores de fósforo disponível, cálcio, magnésio, zinco, manganês e carbono (Kern, 1988; Kern e Kämpf, 1989; Kern, 1996; Costa e Kern, 1999). Aparentemente, as Terras Pretas formam micro-ecossistemas próprios que não se esgotam rapidamente, mesmo nas condições tropicais em que estão expostos ou sob uso agrícola.

Sombroek (1966) mencionou a existência de Terras Mulatas, que são solos que também apresentam teores elevados de fósforo e carbono, mas que não contêm artefatos, embora pareçam estar associadas à atividade antrópica. Há indicações de que essas áreas teriam sido utilizadas na produção agrícola, enquanto que os sítios com elevada concentração de artefatos teriam sido o local de moradia. Segundo McCann et al. (2001) as Terras Mulatas contêm teor de carbono orgânico similar às Terras Pretas, mas menores teores de fósforo e cálcio disponível. Exemplares de Terra Mulata na região do Rio Negro e Urubu tiveram produtividades similares às Terras Pretas da mesma região (Lehmann et al., 2003). Pelo fato das Terras Mulatas também terem sido formadas como resultado da atividade humana e terem características similares às Terras Pretas, Kämpf et al. (2003) sugeriram o uso do termo “Arqueo-antrossol” (traduzido de inglês: *Archeo-anthrosol*) para a identificação de solos antrópicos da Amazônia.

As Terras Pretas não são homogêneas quanto à fertilidade e potencial produtivo, podendo haver diferenças inclusive entre Terras Pretas de uma mesma região e há uma grande variedade nas propriedades de fertilidade dentro de uma mancha (Lehmann et al., 2003). Apesar dessas diferenças, algumas propriedades importantes ligadas ao grau de fertilidade são comuns na maioria das Terras Pretas, como: alto teor de carbono orgânico com propriedades físico-químicas particulares (em grande parte pirogênico) e elevados teores de fósforo, cálcio e micronutrientes, comparado a solos adjacentes, como Argissolos e Latossolos, entre outros.

Um dos principais fatores responsáveis pelo comportamento diferenciado dos solos antrópicos, comparado aos solos adjacentes sem horizonte A antrópico, é a maior quantidade e, principalmente, a diferença qualitativa da sua matéria orgânica. O objetivo desse capítulo foi avaliar a matriz orgânica nas Terras Pretas de Índio, as comparando aos solos não antrópicos, adjacentes, e investigar o efeito das possíveis diferenças sobre o grau de fertilidade de solos antrópicos e não antrópicos.

Características do Horizonte a de Terras Pretas de Índio e de Solos Adjacentes não Antrópicos: Coloração do Solo, Estrutura do Solo, Grau de Fertilidade do Solo

Nesta parte do capítulo, são descritas as principais características associadas aos horizontes das Terras Pretas de Índio, em comparação a solos não antrópicos adjacentes aos locais de estudo. Essa caracterização de horizontes sob influência antrópica torna-se importante no sentido de determinar as possíveis funções da matéria orgânica sobre as diferentes propriedades do solo, principalmente sobre os atributos associados à fertilidade do solo. Do mesmo modo, são discutidas características das Terras Pretas de Índio que poderiam ser utilizadas na separação e classificação dessa classe de solo.

Coloração do solo

A coloração das Terras Pretas no horizonte arqueo-antropodogênico, em geral, como sua denominação indica, é preta a bruno acinzentada muito escura (5YR 2,5/1; 7,5YR 2/0 a 3/1; 10YR 2/0 a 3/2) (Kämpf e Kern, 2005), oposta à coloração dos solos não antrópicos da região, cuja coloração, exceto em alguns exemplos específicos, é determinada pela cor da fase mineral do solo. Essa propriedade muito característica das Terras Pretas é causada pela quantidade (Kern e Kämpf, 1989) e qualidade da matéria orgânica presente nesses solos. As Terras Pretas contêm elevado teor de matéria

orgânica, comparado a solos não antrópicos. Dados de 56 perfis de Terras Pretas mostraram que, enquanto o teor médio de carbono orgânico na camada superficial de 0-20 cm em Terras Pretas foi de 30 g kg^{-1} (Número de amostras - $N=56$, Coeficiente de variação - $CV=66\%$), nos solos não antrópicos da Amazônia, foi de 17 g kg^{-1} ($N=47$, $CV=58\%$) na mesma profundidade (Madari et al., 2003). De maneira geral a correlação entre a cor do solo e a sua concentração de matéria orgânica é baixa ($r^2=0,31$ pelo estudo de Schulze et al., 1993), embora exista uma tendência de o maior teor de MO causar um escurecimento do solo. Em Terras Pretas, a distribuição das frações da matéria orgânica entre si é diferente daquela observada nos solos não antrópicos, sendo que as frações mais recalcitrantes e persistentes no solo (por exemplo humina e ácidos húmicos) predominam em relação às frações mais solúveis (por exemplo ácidos fúlvicos) em Terras Pretas (Souza et al., 2003). A estabilidade da matéria orgânica é relacionada às certas estruturas moleculares que possibilitam que parte da matéria orgânica nas Terras Pretas tenha um tempo de persistência maior no solo, por estarem protegidas da rápida decomposição microbiana. Parte das estruturas responsáveis para estabilidade química da matéria orgânica, por exemplo, estruturas amorfas, hetero-policondensadas, com elevada concentração de ligações duplas conjugadas - (Kumada, 1965) e poliaromáticas, e, conseqüentemente, as frações mais estáveis da matéria orgânica são de coloração marrom escura ou preta, que predominam em relação à coloração mais amarelada ou descolorada conferidas pelas frações mais lábeis, por exemplo, os ácidos fúlvicos e ácidos orgânicos de baixa massa molar. Os solos antrópicos da Amazônia contêm elevado teor de carbono pirogênico ou carvão, em comparação a média geral de solos não antrópicos (Glaser et al., 2000). A presença de carvão também acentua a coloração escura do solo (Schmidt e Noack, 2000).

Estrutura do solo

Além do manejo químico da fertilidade dos solos, o manejo das propriedades físicas é também de grande importância. O manejo físico dos solos é altamente relevante à sua fertilidade, produtividade agrícola e à qualidade ambiental (Lal, 2000). Os solos tropicais, em geral, possuem estrutura desenvolvida, sendo exemplo os latossolos cauliniticos com alto teor de argila. Entretanto, sob manejo inadequado, como o uso freqüente de práticas de revolvimento do solo, ocorre uma rápida deterioração da estrutura desses solos. Os solos antrópicos da Amazônia também apresentam excelentes propriedades físicas. Sua densidade aparente nas profundidades superiores do horizonte antrópico é, em geral, baixa ($1,08 \pm 0,23 \text{ g cm}^{-3}$, $N=10$), a porosidade é alta ($58,83 \pm 9,07 \%$, $N=10$), o mesmo ocorrendo com o potencial de retenção de água (Teixeira e Martins, 2003).

Uma pergunta recorrente está ligada à influência que o carbono pirogênico exerce sobre as propriedades físicas do solo. Por um lado, o carvão, devido à sua porosidade, e conseqüentemente à sua grande área superficial, pode significativamente aumentar a capacidade de retenção de água, especialmente em solos de textura arenosa, contudo, a estrutura aromática, que tem características hidrofóbicas, pode reduzir a penetração de água nos espaços porosos de agregados do solo, aumentando, assim, a estabilidade dos agregados (Glaser et al., 2002). Provavelmente, devido à essa propriedade do carvão, em solos de textura média, a adição de carvão não tenha efeito sobre esse atributo, e, em solos argilosos, esse efeito seja negativo (Tryon, 1948). Almendros et al. (1992) descreveu o processo evolutivo das substâncias húmicas, que poderiam, significativamente, contribuir à formação de solos com características repelentes à água, como resultado da queima. Assim, a maior concentração de carbono pirogênico, combinado com suas propriedades físico-químicas, como alta estabilidade e reatividade (Zech et al., 1990; Golchin et al., 1997; Schmidt et al., 1999; Poirier et al., 2000) certamente contribuem para o melhoramento das propriedades das Terras Pretas, não somente das químicas, mas das físicas também. Investigações sobre as características físicas dos solos antrópicos da Amazônia são conduzidas na Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus e no Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém, PA. Mais informações sobre esse assunto podem ser encontradas em Ruivo et al. (2003) e Teixeira e Martins (2003), como em outros capítulos deste livro.

Grau de fertilidade do solo

Comparando com solos não antrópicos, em geral, as Terras Pretas apresentam uma clara tendência de ter maiores teores de carbono orgânico, cálcio e magnésio, maior pH e saturação por bases (Fig. 1) e menor teor de alumínio trocável, propriedades que são responsáveis pela melhor qualidade das Terras Pretas, em relação à sua fertilidade e potencial produtivo. Assim, embora exista alguma sobreposição entre as Terras Pretas e solos não antrópicos, a fertilidade das Terras Pretas é, em geral, maior que a fertilidade dos solos adjacentes sem horizonte A antrópico (Madari et al., 2003). A capacidade de o solo adsorver nutrientes (cálcio + magnésio, saturação por bases), a diminuição da toxidez por alumínio e a estabilização do pH são propriedades e processos cujo controle em solos tropicais fundamentalmente depende da matéria orgânica do solo. Pabst (1992), investigando as principais diferenças entre Terras Pretas e Latossolos, do mesmo modo, verificou que os atributos associados, principalmente, à matéria orgânica, como o pH, teor de matéria orgânica, “estrutura do húmus” (estabilidade à decomposição microbiana), nitrogênio, saturação por bases, capacidade de troca de cátions e teor de fósforo, são que melhor separam as duas classes de solo. Embora a maior quantidade de matéria orgânica em Terras Pretas seja um fator relevante, pesquisas têm mostrado que a composição e as características da matéria orgânica em Terras Pretas também contribuem para o aumento do grau de fertilidade desses solos. A seguir, é feita uma breve descrição das frações funcionalmente distintivas da matéria orgânica do solo, sendo mostradas as propriedades da matéria orgânica em Terras Pretas que mais contribuem para a melhoria da fertilidade delas. Maiores informações sobre a fertilidade das Terras Pretas são disponíveis em outros capítulos deste livro.

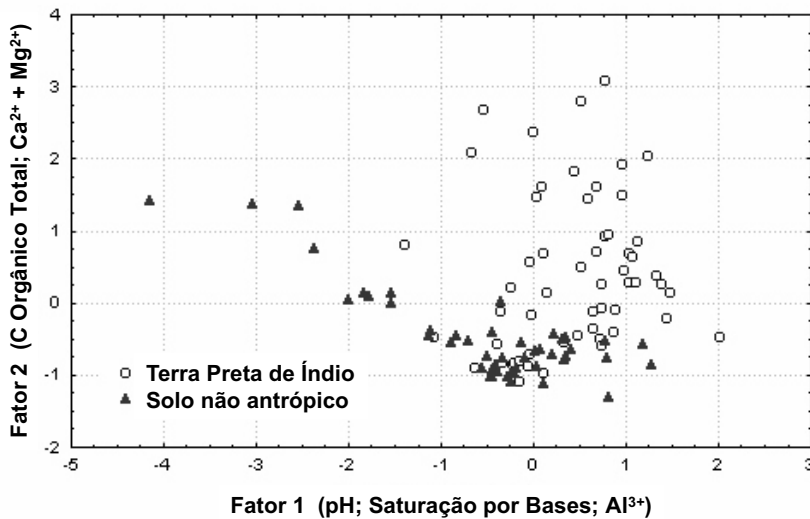


Fig. 1. Diagrama de análise hierárquica usando dados de fertilidade de Terras Pretas de Índio e de solos não antrópicos da Amazônia. Fonte: adaptado de Madari et al. (2003).

Composição, Características e Funções da Matéria Orgânica do Solo

Para entender como a matéria orgânica e suas diferentes formas contribuem para a formação da fertilidade distintiva das Terras Pretas em comparação aos solos adjacentes não antrópicos, é importante conhecer as principais frações e compartimentos da matéria orgânica e suas funções no solo.

O termo “matéria orgânica do solo” ou “húmus” refere-se ao conteúdo total de matéria orgânica viva e morta, incluindo a biomassa (Waksman, 1936). Ela é composta de uma diversidade de materiais orgânicos de diferentes funções no ecossistema solo. Segundo Stevenson (1994), a classificação das formas (frações) da matéria orgânica morta são as seguintes:

A *liteira* é matéria macroorgânica, por exemplo resíduos de plantas na superfície do solo. Sua função é fornecer energia para os organismos do solo e proteger a superfície do solo contra a degradação física.

A *fração leve* consiste da matéria orgânica morta não, ou parcialmente, decomposta, cuja densidade se situa em torno de 1 a 2 g cm⁻³. Dependendo da sua localização dentro da estrutura do solo, identificam-se duas sub-frações: *fração leve livre* e *fração leve intra-agregada* ou oclusa (Sohi et al., 2001). A *fração leve livre* encontra-se entre os elementos estruturais estáveis (agregados) do solo, e a *fração leve intra-agregada* dentro dos agregados estáveis. A grande diferença entre essas duas subfrações é que, enquanto a *fração leve intra-agregada* está fisicamente protegida pela estrutura do solo, a *fração leve livre* pode ser rapidamente decomposta pela biota do solo, por se tratar de C passível de ser acessado pelos microrganismos decompositores e seus complexos enzimáticos. Outrossim a função dessas frações é fornecer energia para os organismos do solo, além de fornecer nutrientes para as plantas através do processo de mineralização. Enquanto a *fração leve livre* é mais suscetível ao processo de mineralização, a *fração leve intra-agregada*, por ser protegida dentro dos agregados, libera nutrientes ao solo mais lentamente (Six et al., 2000). Adicionalmente, o C da fração leve se constitui em reservatório importante de C biodisponível no solo, uma vez que pode representar de 5 a 35 % do C total presente no solo. O manejo conservacionista de agroecossistemas (sistemas agroflorestais, sistema plantio direto, etc.) promovem um aumento do aporte de resíduos ao solo (*palhada*) e do C da *fração leve* e, com isso, melhoram a qualidade do solo.

As *substâncias não humificadas* englobam compostos orgânicos de natureza e propriedades físico-químicas conhecidas, sendo exemplos os aminoácidos, carboidratos, gorduras, ceras, resinas, ácidos orgânicos, entre outros. A matéria orgânica contém a maioria ou todos os compostos bioquímicos produzidos pelos organismos vivos, incluindo as plantas. Esses compostos participam da nutrição dos microorganismos, sendo mineralizados e, em parte, temporariamente imobilizados. Outras substâncias, como mucilagens, apresentam um importante papel na estruturação do solo, pois agem como verdadeiros cimentos ligando partículas de argila e contribuindo para a formação de agregados do solo. As enzimas existentes no solo, sejam elas produzidas por microrganismos ou pelas plantas, apresentam um importante papel na sua fertilidade, pois são capazes de solubilizar nutrientes em formas bastante estáveis, tornando-os disponíveis para a assimilação pelas plantas. No caso específico do fósforo, fortemente adsorvido em solos tropicais com predomínio de óxidos de ferro e alumínio na fração argila, a ação das enzimas (fosfatase e fitase) em participar dos processos de mineralização de formas orgânicas de P é fundamental para o aumento da disponibilidade desse nutriente no solo.

As *substâncias húmicas* são um conjunto de moléculas que possuem massa molar variável, coloração amarelada a preta e solubilidades diferenciadas em meios alcalino e ácido. Em grande parte, são formadas por reações secundárias de síntese, assim, organismos vivos não as produzem diretamente. As *substâncias húmicas* distinguem-se no solo ou em sedimentos em razão de apresentarem características diferentes dos compostos que lhes deram origem, seja, eles, originados de biopolímeros de microrganismos ou de plantas, ou de processos de síntese e ressíntese mediados pelos organismos decompositores do solo. Em geral as *substâncias húmicas*, representam, aproximadamente, 70% do C total do solo. Por isso, exercem grande influência sobre as características físicas e químicas do solo, e conseqüentemente, tem grande influência sobre os atributos de fertilidade. Dentro da fração das *substâncias húmicas*, diferenciamos quatro frações principais, tendo como base as suas características de solubilidade em ácido, base e álcool. Essas classes de moléculas englobam: a humina, ácido húmico, ácido himatomelânico e ácido fúlvico. A *humina* é a fração insolúvel da matéria orgânica em solução aquosa em meios ácido e alcalino, portanto, em qualquer valor de pH de solução extratora. Os *ácidos húmicos* são os compostos de coloração escura da matéria orgânica solúveis em solução básica e insolúveis em solução ácida. Os *ácidos himatomelânicos* são a fração dos AH solúveis em álcool. Os *ácidos fúlvicos* são os compostos da matéria orgânica solúveis tanto em meio básico como em ácido.

Os compartimentos da matéria orgânica do solo são, em geral, separados e classificados em lábil (ou ativo), lento (ou intermediário) e recalcitrante (ou estável) (Wander, 2004). A biomassa microbiana e os substratos derivados de organismos vivos, a *liteira*, a fração leve não protegida (*fração leve livre*), entre outros, são considerados frações lábeis da matéria orgânica do solo. Por se tratar de C de maior biodisponibilidade, essas frações são as fontes primárias de energia e nutrientes para a microbiota. No grupo intermediário de labilidade, encontram-se os resíduos orgânicos parcialmente decompostos, fisicamente protegidos (*fração leve intra-agregado*) e alguns materiais humificados, que prontamente podem ser hidrolisadas ou possuem maior mobilidade no solo (ácidos orgânicos, *ácidos fúlvicos*, etc.). No grupo de moléculas recalcitrantes, podem ser mencionados os materiais altamente refratários, como *carvão* e outros materiais pirogênicos, lignina, macromoléculas alifáticas e alguns substâncias húmicas associados à fase mineral do solo (*humina*) ou em associações moleculares de alta massa molar aparente (alguns *ácidos húmicos*).

A matéria orgânica humificada (*substâncias húmicas*), como foi descrito anteriormente, pertence aos grupos intermediário e recalcitrante, e é um reservatório de nutrientes e carbono no solo. Todos esses grupos têm um papel importante no ciclo e dinâmica de carbono e de atributos de fertilidade do solo, particularmente em solos tropicais, altamente intemperizados e, conseqüentemente, com uma fase mineral de baixa reatividade química e baixa capacidade para adsorver nutrientes.

As frações acima mencionadas das *substâncias húmicas* são operacionalmente definidas e quimicamente não homogêneas (Kononova, 1966), mas existem certas tendências de similaridade nas características dos compostos pertencentes a cada grupo (Kumada, 1965).

Essas características refletem particularidades moleculares das diferentes frações que resultam em propriedades diferenciadas, que referem-se à estabilidade e reatividade das frações. Em termos gerais, entre as frações das *substâncias húmicas* solúveis em base, os *ácidos húmicos* apresentam maior massa molar aparente e possuem maior presença de estruturas aromáticas, e os *ácidos fúlvicos* têm mais grupos funcionais quimicamente reativos (grupos carboxílicos e fenólicos). Assim, os *ácidos húmicos* são relativamente mais estáveis e têm maior tempo de persistência no solo. Os *ácidos fúlvicos* são mais móveis dentro do sistema solo, o que reflete a menor massa molar e solubilidade dessas moléculas em diferentes faixas de pH.

Carvões

Na maioria dos solos tropicais, são encontrados pequenos fragmentos de carvão resultantes de queimas naturais ou da ação do homem. Esses carvões são uma forma bastante estável da matéria orgânica. Quando estão na forma de fragmentos muito pequenos, os carvões apresentam alguma atividade no sentido de absorver compostos orgânicos solúveis, reter água e servem como abrigo para alguns microorganismos do solo (Benites et al. 2005a). Na Amazônia, é muito comum a prática da queima da vegetação, que além de provocarem a uma série de problemas, como a poluição, a destruição da microbiota do solo e de alguns elementos da fauna e flora, incorporam carvões ao solo. Em alguns países como o Japão, a prática dessa incorporação é tradicional (Ogawa, s.a.). Estudos mais recentes têm avaliado o efeito da adubação com carvão sobre as propriedades físico-hídricas e químicas do solo (Glaser et al., 2002). Um capítulo deste livro oferece informação sobre a formação, ocorrência e propriedades de carvões.

As Características da Matéria Orgânica nas Terras Pretas de Índio

Os processos de estabilização e desestabilização, ou seja, processos que afetam o acúmulo e decomposição de matéria orgânica no solo bem como o equilíbrio desses processos são de extrema importância para a formação e manutenção da fertilidade química e física de solos tropicais. Esses processos afetam a recalcitrância, a reatividade, ou seja, a capacidade para interações e a proteção da matéria orgânica contra a decomposição química e microbiana (Sollins et al., 1996). A maior

acumulação de carbono orgânico em Terras Pretas que nos solos adjacentes indica que pelo menos parte dessa matéria orgânica possui características que fornecem estabilidade ou pouca disponibilidade a ela no solo. Os dados sobre a fertilidade das Terras Pretas indicam elevada reatividade química da sua matéria orgânica em comparação aos solos não antrópicos.

Carvões

Carvões geralmente são reportados como materiais pouco reativos (inertes), hidrofóbicos e que, devido a sua porosidade, apresentam elevada área superficial ($200\text{--}400\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$, Kishimoto e Sugiura, 1985). Entretanto, a reatividade e hidrofobicidade dos carvões, bem como sua estrutura, dependem do material de origem e das condições de formação, tais como: temperatura e tempo de queima, umidade do material vegetal, disponibilidade de oxigênio entre outros. Embora eles possam ser considerados estáveis no sistema solo, se comparados a outras formas da matéria orgânica, também sofrem biodegradação e transformação. Bird et al. (1999) sugeriram que o carbono pirogênico (“black carbon”) pode ser significativamente degradado dentro da escala de tempo de décadas ou séculos em solos sob clima subtropical. O meio-tempo de permanência de partículas carbonizadas de maiores que 2 mm foi estimado a menos de 50 anos, e de partículas menores que 2 mm a menos de 100 anos. A degradação do carvão faz com que esse material também faça parte do ciclo global do carbono. Se assim não fosse, a superfície da terra seria convertida em carvão dentro de menos de mil séculos (Kuhlbusch e Crutzen, 1995¹ in Glaser et al., 2002). A biodegradação de carvões no solo é um processo relativamente lento e resulta na mobilização do carbono e na alteração das propriedades de superfície do carvão, aumentando a concentração de sítios quimicamente reativos.

A quantidade de carvão produzido pela queima depende do material de origem, da temperatura e do tempo de queima. Fearnside et al. (1999) relataram que a produção de carvão de queima natural de floresta secundária na Amazônia foi entre 1,6 e 1,8 % da biomassa vegetal original. Queima de floresta primária resultou em 3,5–4,7 % carvão (Fearnside et al., 1993; Graça, 1999). Em condições controladas de queima, entre 300 e 500°C em laboratório ou diferentes aparelhos de produção de carvão, a produção de carvão era em torno de 79,6 %. Trompowsky et al. (2005), em condições controladas, demonstraram que duas espécies de eucalipto, *E. saligna* e *E. grandis*, tiveram uma máxima produção de carvão, chegando a 56%, a temperatura de carbonização de 300°C. Nesse mesmo estudo, também mostraram que a razão O/C era maior (0,3) para a temperatura de 300°C e que com o aumento da temperatura até 500°C essa razão diminuiu para 0,06 resultando num material que conteve carbono em 90 % da sua massa. A presença de oxigênio numa maior proporção pode indicar maior reatividade.

Hamer et al. (2004) investigou o “priming” interativo de carbono pirogênico e a mineralização de glicose. Segundo estes resultados, a mineralização do carbono pirogênico foi estimulada por adição de glicose no solo e, vice-versa, a mineralização de glicose foi estimulada pela presença do carbono pirogênico. Os autores propuseram que o efeito do material carbonizado deu-se através da oferta de uma maior área superficial para o crescimento e atividade microbiana e não pela disponibilidade de maior quantidade de carbono, pois o carbono pirogênico, sendo altamente aromático, não é prontamente acessível para a microbiota como fonte de energia.

Assim, o carvão vegetal, embora seja um material relativamente inerte no solo, e de alta estabilidade, dependendo das condições da sua formação e das transformações por que passa no solo, tem a capacidade de contribuir para a melhora das propriedades físicas, químicas e, conseqüentemente, biológicas do solo.

¹Kuhlbusch, T.A.J., Crutzen, P.J. Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink for aTerra Mulataospheric CO₂ and a source of O₂. Global Biogeochemical Cycles 9:491-501. 1995.garden'.

Fração leve da matéria orgânica

Existem poucos estudos sobre a contribuição do carbono pirogênico na fração leve da matéria orgânica em Terras Pretas. Essa fração é separada com base na densidade dos componentes do solo após a dispersão total deste. Glaser et al. (2000) quantificaram o carbono pirogênico em três frações de densidade: $d < 2,0 \text{ g cm}^{-3}$ (fração leve), $d = 2,0\text{-}2,4 \text{ g cm}^{-3}$ (fração média) e $d > 2,4 \text{ g cm}^{-3}$ (fase mineral do solo em qual o carbono orgânico está ligado através de mecanismos químicos e físicos) em Terras Pretas e latossolos não antrópicos. Observaram que a contribuição do carbono pirogênico na massa do solo era maior nas Terras Pretas em cada fração, e a maior quantidade de carbono pirogênico foi encontrada na fração média. Porém, nos latossolos, a distribuição de carbono pirogênico entre as frações de densidade era mais equilibrada.

É provável que as quantidades de carbono pirogênico tenham sido superestimadas, devido ao método utilizado, que foi a determinação de carbono benzenocarboxílico por cromatografia gasosa depois de oxidação parcial do carbono pirogênico com ácido nítrico (Derenne e Largeau, 2001). Entretanto, seus resultados mostraram a elevada quantidade de carbono pirogênico nas frações leves das Terras Pretas, indicando que a maior proporção do carbono pirogênico nas Terras Pretas é de natureza particulada e, em parte, fisicamente não protegida pela estrutura do solo. Contudo, também pode ser encontrado em formas fisicamente protegidas ou através de ligação com a fase mineral do solo na forma de complexos organo-minerais.

A fração leve da matéria orgânica é uma das mais lábeis, com alta predisposição à decomposição microbiana, especialmente a fração leve livre, que não está protegida fisicamente pela estrutura do solo. Em relação ao carvão em solos, e em particular no caso das Terras Pretas, não temos informação exata sobre a proteção física de carbono pirogênico de natureza particular. Há indicações, como foi mencionado acima, que ocorre no solo tanto na forma protegida quanto na desprotegida. O carbono pirogênico particulado, porém, tem um tempo de persistência no solo muito maior que a matéria orgânica leve de origem não pirogênica. O fato de ser preservado, mesmo na fração leve, já é uma indicação de sua maior recalcitrância. Embora as formas de proteção do carbono pirogênico e a sua estrutura química ainda não sejam completamente compreendidas, pode-se afirmar com grande certeza, que a maior estabilidade do carbono pirogênico deve-se à sua estrutura, composição molecular e morfologia que variam conforme sua origem (Poirier et al., 2000). O carbono pirogênico formado a partir da queima de materiais ligno-celulósicos tende a apresentar uma micro-textura com unidades estruturais básicas arranjadas em camadas pouco orientadas. A queima de materiais com baixo conteúdo de oxigênio, como ceras de plantas ou hidrocarbonetos como combustíveis fosseis, apresentam micro-textura com camadas de unidades estruturais básicas em arranjo concêntrico (Poirier et al., 2000 e Derenne e Largeau, 2001). As unidades estruturais básicas, de tamanho nanométrico, do carbono pirogênico constituem estruturas poliaromáticas condensadas (Fig. 2), de baixa razão H/C, sendo altamente resistentes à degradação biológica e abiótica.

Substâncias húmicas

Recentemente o estudo da fração humificada da matéria orgânica, as substâncias húmicas, tem ganhado nova importância devido a seu papel extremamente importante na proteção ambiental. O desequilíbrio provocado pela retirada da vegetação natural e pelo estabelecimento de produção agrícola promoveu a degradação do solo e diminuiu sua capacidade para sustentar vida ao longo prazo (Mielniczuk et al., 2003). Os ácidos húmicos são uma das frações mais importantes da matéria orgânica e têm papel fundamental na sustentabilidade das funções do solo. A maior parte das substâncias húmicas representa um compartimento da matéria orgânica que tem uma lenta taxa de transformação e degradação ou é recalcitrante. Compondo 70-80% da matéria orgânica (Stevenson, 1994), elas exercem papel importante na acumulação de carbono e na retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas.

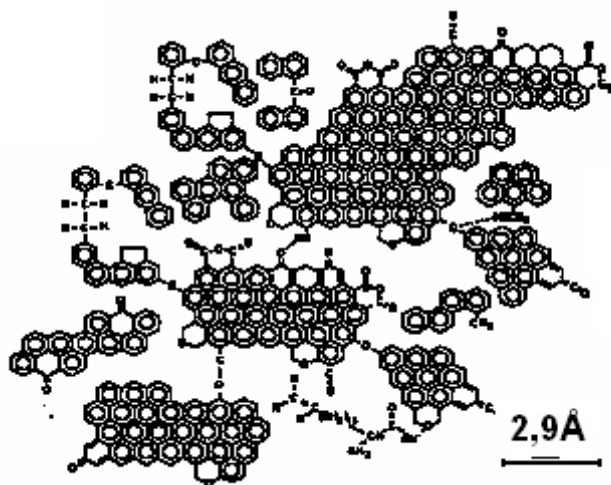


Fig. 2. Desenho geral esquemático da estrutura poliaromática de carbono pirogênico. Fonte: adaptado de Derenne e Largeau (2001).

Por essas razões, a distribuição de carbono entre as frações das substâncias húmicas e suas características moleculares em Terras Pretas serão discutidas, em maiores detalhes, nos próximos subcapítulos, sempre comparadas com solos não antrópicos.

A Distribuição de C entre as Frações Húmicas da Matéria Orgânica do Solo nas Terras Pretas de Índio

A fração mais abundante das substâncias húmicas em Terras Pretas e solos não antrópicos é a humina. As Terras Pretas, entretanto, têm uma maior proporção de carbono na fração ácidos húmicos, contrariamente aos solos não antrópicos, que têm uma maior proporção de carbono na fração ácidos fúlvicos. Assim, nas Terras Pretas, predominam as frações húmicas que são convencionalmente consideradas quimicamente mais estáveis (ácidos húmicos e humina) em função da maior presença de grupamentos aromáticos e de anéis benzênicos, do maior grau de polimerização e menor suscetibilidade ao ataque microbiano. A Figura 3 também apresenta que as Terras Pretas possuem uma grande proporção (~ 50% ao longo do perfil do solo) de carbono não oxidável com o método Walkley-Black. Este carbono quimicamente é estável e consequentemente tem um tempo de persistência maior no solo.

A variabilidade da distribuição das três frações (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina) das substâncias húmicas dentro de uma mancha de Terra Preta, entretanto, é grande (Tabela 1), sendo a maior a variabilidade da fração ácidos fúlvicos, e a menor da humina. Esta variabilidade, como aquela observada para os parâmetros químicos do solo é, provavelmente, devido à própria origem antrópica destes solos, por causa do depósito irregular, entre outros, de material carbonizado.

Composição e Propriedades Físico-Químicas da Fração Ácidos Húmicos das Terras Pretas de Índio

No perfil de Terra Preta da Figura 3 (Souza et al., 2003) o carbono total mostrou correlação significativa com a capacidade de troca catiônica do solo e com a soma de bases (Tabela 2). O carbono orgânico também apresentou correlação com a capacidade de troca catiônica e com a soma de bases. Entre as frações químicas da matéria orgânica, somente a fração ácidos húmicos correlacionou-se com esses atributos de fertilidade. Esses resultados demonstram a importância da fração ácidos húmicos em condicionar alguns atributos de fertilidade do perfil de Terra Preta estudado. Isso sugere que, para o melhor entendimento do efeito da matéria orgânica sobre a fertilidade e sustentabilidade das Terras Pretas, é importante examinar, entre outros aspectos, a composição molecular e características físico-químicas da fração ácidos húmicos.

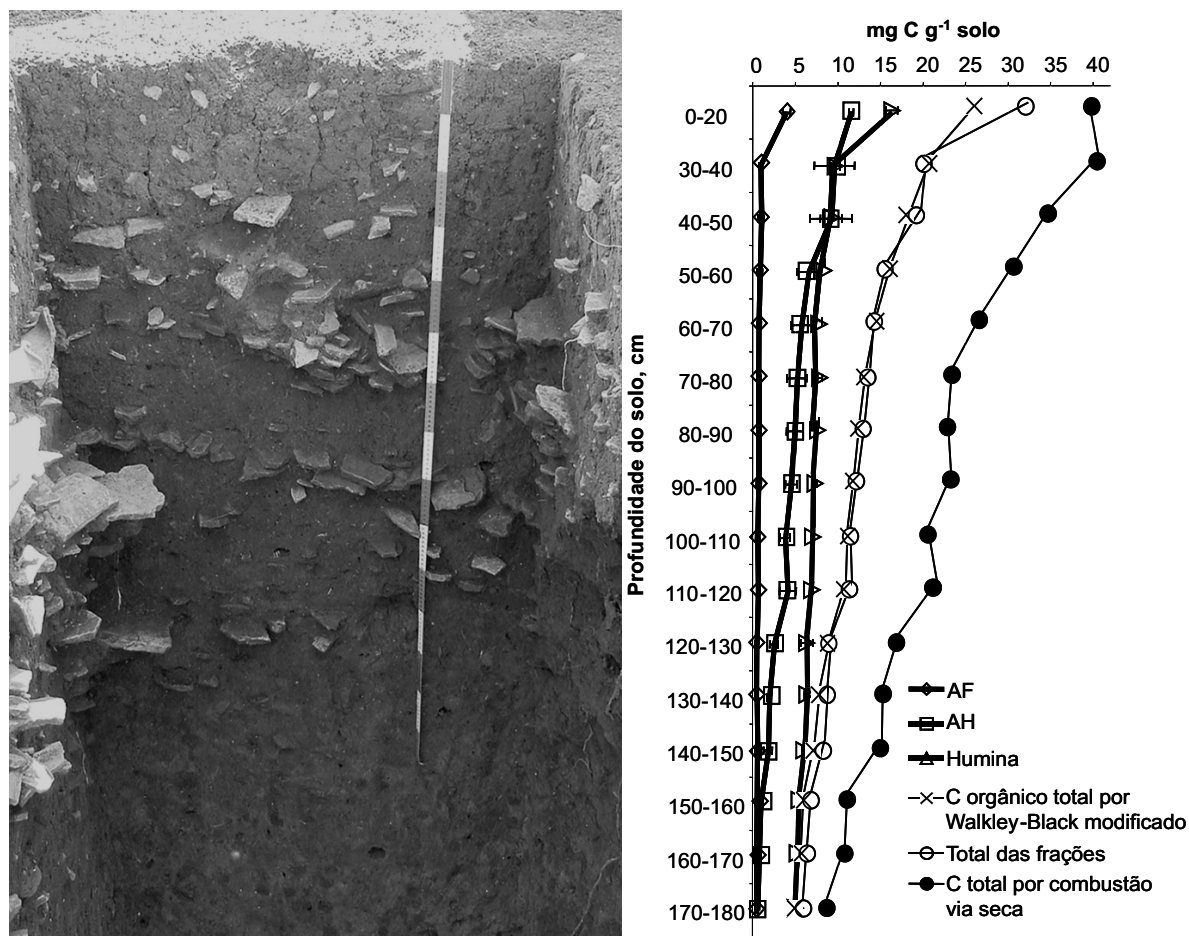


Fig. 3. Perfil da Terra Preta, Sítio Hatahara, Iranduba (AM). AF: ácidos fúlvicos, AH: ácidos húmicos, Total das frações: AF+AH+Humina. O teor de carbono nas frações químicas da matéria orgânica dos solo (N=3). Barras de erro indicam os desvios-padrão. Fonte: adaptado de Souza et al. (2003).

Tabela 1. Variabilidade da distribuição das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina dentro de uma mancha de Terra Preta, no Sítio Roda de Fogo, município de Rio Preto da Eva (AM).

| Profundidade, cm | Ácidos fúlvicos | | | Ácidos húmicos | | | Humina | | |
|------------------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|
| | C, mg g ⁻¹ | V, % | CV | C, mg g ⁻¹ | V, % | CV | C, mg g ⁻¹ | V, % | CV |
| 0-5 | 11,47 | 5043 | 0,62 | 5,31 | 759 | 0,52 | 4,56 | 176 | 0,29 |
| 5-10 | 12,04 | 4981 | 0,59 | 6,54 | 938 | 0,47 | 5,69 | 193 | 0,24 |
| 10-20 | 10,82 | 3537 | 0,55 | 9,57 | 1135 | 0,35 | 4,73 | 19 | 0,09 |
| 20-40 | 10,00 | 2390 | 0,49 | 8,39 | 580 | 0,29 | 3,48 | 13 | 0,10 |
| 40-60 | 7,85 | 3519 | 0,76 | 4,81 | 1127 | 0,70 | 1,95 | 21 | 0,24 |
| 60-80 | 7,74 | 3636 | 0,78 | 2,82 | 1370 | 1,31 | 2,15 | 71 | 0,39 |
| 80-100 | 7,55 | 4347 | 0,87 | 1,42 | 404 | 1,41 | 2,39 | 99 | 0,42 |

Fonte: Beckman et al. (2005).

Tabela 2. Relação entre atributos da fertilidade, soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC) de uma Terra Preta de Índio (Sítio Hatahara, Iranduba - AM) e frações da matéria orgânica do solo.

| Atributo de fertilidade do solo | | AF | AH | HUM | Total das Frações (AF+AH+HUM) mg C.g ⁻¹ solo | Corg | Ctot | Cres |
|---------------------------------|---|----------|--------|---------|--|---------|--------|----------|
| SB | R | -0,01 ns | 0,66** | 0,29 ns | 0,45 ns | 0,61 ns | 0,72** | 0,10 ns |
| CTC | R | 0,28 ns | 0,85* | 0,56 ns | 0,69** | 0,81* | 0,89* | -0,18 ns |

AF: ácidos fúlvicos, AH: ácidos húmicos, HUM: humina, Total de Frações: soma de carbono nas frações químicas, Corg: carbono orgânico do solo pelo método Walkley-Black modificado (Embrapa 1997), Ctot: carbono total pelo método combustão a seca, Cres: Ctot-Corg, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca catiônica, r: coeficiente de correlação (Pearson's), ns: não significativo no nível $p < 0,01$, *: significativo no nível $p < 0,0001$, **: significativo no nível $p < 0,005$, ***: significativo no nível $p < 0,01$. Fonte: Souza et al. (2003).

Para demonstrar as principais diferenças entre os ácidos húmicos de Terras Pretas e os de solos não antrópicos, as propriedades físico-químicas e moleculares que determinam suas funções em solo são discutidas a seguir. As propriedades que determinam a função e as transformações dos ácidos húmicos são sua estabilidade, reatividade e suscetibilidade à mineralização no solo. A estabilidade dos ácidos húmicos em relação à decomposição e lixiviação é importante para a acumulação e persistência do carbono orgânico no solo. A reatividade dos ácidos húmicos faz com que essas moléculas interajam com outros componentes do solo, por meio da formação de complexos organo-metálicos, cujas ligações formadas entre a fase mineral e orgânica do solo favorecem a acumulação de carbono orgânico. Por reações de adsorção e dessorção, ocorre a retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas. Pela mineralização dos ácidos húmicos, ocorre a liberação de nutrientes e também a diminuição do conteúdo de carbono orgânico no solo. A estabilidade dos ácidos húmicos é determinada, principalmente, pelas suas estruturas aromáticas e hidrofóbicas. A sua reatividade química é determinada pela concentração de grupos ácidos nas superfícies moleculares. A suscetibilidade dos ácidos húmicos à mineralização depende, principalmente, das quantidades das estruturas alifáticas hidrofílicas nas associações moleculares dessa fração (Fig. 4).

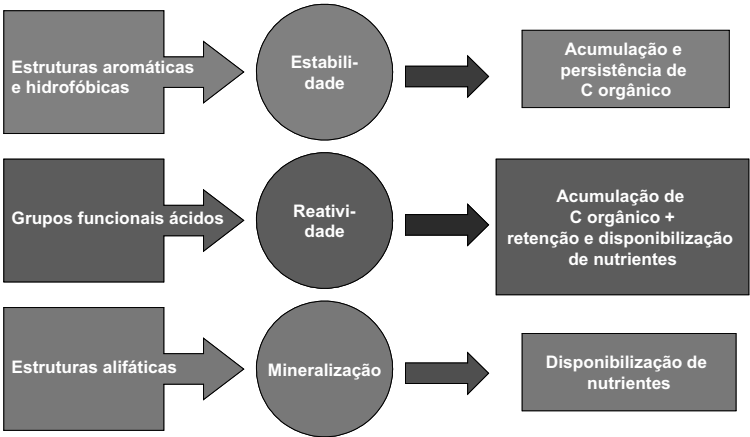


Fig. 4. Propriedades que determinam as funções e transformações das substâncias húmicas no solo.

As principais diferenças entre os ácidos húmicos das Terras Pretas e os de solos não antrópicos da Amazônia são apresentadas nas Tabelas 3 e 4. Os métodos utilizados para a obtenção dos índices apresentados nas Tabelas 3 e 4 são listados e descritos na Tabela 5 (Cunha, 2005). A localização das Terras Pretas e solos adjacentes não antrópicos investigados neste estudo é apresentada na Figura 5.

Tabela 3. Índices que descrevem a composição e propriedades físico-químicas dos ácidos húmicos das Terras Pretas de Índio (TPI) e solos adjacentes não antrópicos (Não TPI) da Amazônia.

| Solos | ITG | IA | Acidez Total, cmol _c kg ⁻¹ | Acidez Carboxílica, cmol _c kg ⁻¹ | O/H | E ₄ /E ₆ | RLO, Spin g ⁻¹ | C/N | A ₄ /A ₁ | I ₄₈₅ /I ₄₀₀ |
|---------|------|-------|---|--|-------|--------------------------------|------------------------------|--------|--------------------------------|------------------------------------|
| TPI | 3,2a | 0,86a | 673a | 445a | 7,42a | 4,2b | 5,75a | 2,109a | 3,067a | 2,109a |
| Não TPI | 2,3b | 0,77b | 575b | 320b | 4,76b | 6,0a | 2,11b | 1,510b | 1,713b | 1,510b |

TPI: Terra Preta de Índio sob floresta e cultivada (N=18), Não TPI: Solo não antrópico, adjacente a TPI sob floresta (N=4). Os valores seguidos por letras diferentes dentro de uma coluna são diferentes no nível $p \leq 0,05$ pela teste de Tukey. ITG: Índice termogravimétrica, IA: Índice de aromaticidade obtido por espectroscopia infravermelha (DRIFT), Acidez Total: Concentração de todos os grupos funcionais ácidos nas superfícies moleculares, Acidez Carboxílica: Concentração de grupos carboxílicos, O/H: Razão atômica Oxigênio:Hidrogênio, E₄/E₆: Obtida por espectroscopia UV-Visível, indica conteúdo de anéis aromáticos condensados, RLO: Obtida por espectroscopia ressonância paramagnética eletrônica (RPE), utilizada para determinar grau de humificação, C/N: razão atômica Carbono:Nitrogênio, A₄/A₁ e I₄₈₅/I₄₀₀: Índices obtidos por espectroscopia de fluorescência, descrevem o grau de humificação das substâncias húmicas. Fonte: Cunha (2005).

Tabela 4. Distribuição de ¹³C entre as estruturas químicas contendo carbono nos ácidos húmicos das Terras Pretas de Índio e de solos adjacentes, não antrópicos, da Amazônia obtida por espectroscopia de ressonância magnética nuclear de polarização cruzada e rotação no ângulo mágico com amplitude variável (¹³C VACP/MAS RMN).

| Solos | Alquila 0-45 | Metoxila 45-60 | O-Alquila 60-110 | Aromático 110-160 | Carboxila 160-185 | Carbonila 185-245 | Alifática | Aromática |
|---------|-----------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|
| TPI | 23b | 10b | 18b | 29b | 11a | 7a | 64b | 36b |
| Não TPI | 29a | 12a | 26a | 22a | 11a | 2b | 75a | 25a |

TPI: Terra Preta de Índio sob floresta e cultivada (N=18); Não TPI: Solo não antrópico, adjacente a TPI sob floresta (N=4); Os valores seguidos por letras diferentes dentro de uma coluna são diferentes no nível $p \leq 0,05$ pela teste de Tukey. Fonte: Cunha (2005).

Tabela 5. Lista de técnicas e métodos utilizados para obter os índices de humificação e reatividade, quantificar e descrever as propriedades da matéria orgânica do solo (Souza et al., 2003), das substâncias húmicas e, em específico, dos ácidos húmicos (Cunha, 2005), discutidos no texto.

| Técnica/Método | Finalidade/Índice/Propriedade | Especificação |
|---|---|--|
| Método Walkley-Black modificado pela Embrapa (1997) | Quantificação de carbono orgânico no solo | Oxidação da MO com dicromato de potássio |
| Método Benites et al. (2003) modificado do método Yeomans-Bremner (Yeomans e Bremner, 1988) | Quantificação das substâncias húmicas | Oxidação da MO com dicromato de potássio |
| Método recomendado pela IHSS (Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas) (Swift, 1996) | Extração e separação das substâncias húmicas | Separação operacional em razão da solubilidade do material em solução aquosa de ácidos e bases |
| Termogravimetria | Índice termogravimétrico (ITG) (Benites et al., 2005b) | Relação entre a perda de massa dos AH nas faixas de temperatura (°C): (350-650)/(105-305) |
| Espectroscopia no infravermelho médio com transformada de Fourier com reflectância difusa (DRIFT) | Índice de aromaticidade (IA) (Freixo et al., 2002) | Relação entre das áreas de absorbância das bandas: (3057-3055 cm ⁻¹)/(2934-2928 cm ⁻¹) |
| Ba (OH) ₂ | Acidez total e Acidez carboxílica (Schnitzer & Gupta, 1965) | Acidez total = (título do branco - título da amostra) x N do HCl x 1000/massa da amostra em mg |

Tabela 5. Continuação.

| Técnica/Método | Finalidade/Índice/Propriedade | Especificação |
|---|--|--|
| Análise elementar por combustão a alta temperatura | Razões O/H e C/N | |
| Espectroscopia UV-Visível | Razão E4/E6 (Kononova, 1966) | Relação entre absorbância a 465 nm / 665 nm |
| Espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) | Radicais Livres Orgânicos (RLO) | Foi obtida pela integração do sinal da primeira derivada do radical livre, comparado a um padrão de KCl, com concentração de spins conhecida (3×10^{15} spins g ⁻¹), utilizando o rubi sintético como padrão secundário (Singer, 1959; Martin-Neto et al., 1994) |
| Espectroscopia de fluorescência | Índices A4/A1 e I485/I400 | A4/A1: Relação entre a absorbância a: (665-585 nm) / (425-345 nm) (Zsolnay et al., 1999) I485/I400: Relação entre a absorbância a: 480 nm / 400 nm (Kalbitz et al., 1999) |
| Espectroscopia de ressonância magnética nuclear de polarização cruzada e rotação no ângulo mágico com amplitude variável (RMN 13C VACP/MAS) | Tabela 3. (Knicker et al., 2005a,b; Dick et al., 2005) | |

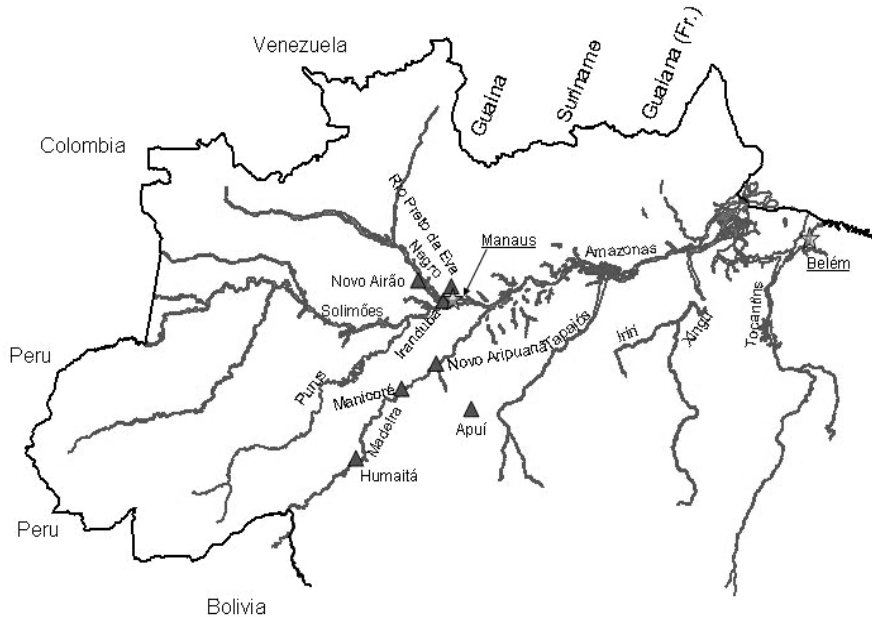


Fig. 5. Localização (△) das Terras Pretas de Índio e solos adjacentes não antrópicos investigados usando as metodologias referidas na Tabela 5.

O processo de humificação resulta em moléculas, ou associações moleculares, cada vez maiores, com maior grau de condensação e concentração de radicais livres orgânicos. Diversas índices de humificação obtidos por métodos degradativos e diferentes técnicas espectroscópicas indicaram uma maior humificação e, provavelmente, maior conteúdo de estruturas aromáticas policondensadas nos ácidos húmicos extraídos de Terras Pretas. Os ácidos húmicos das Terras Pretas são mais resistentes à

termo-degradação, comparando-se com os ácidos húmicos de solos não antrópicos, o que é expresso pelo índice termogravimétrico (TGI). Essa característica indica que os ácidos húmicos das Terras Pretas têm uma maior proporção de elementos estruturais estáveis, como um núcleo aromático condensado, comparado com ácidos húmicos de solos não antrópicos. O índice de aromaticidade (IA) obtido pela técnica de espectroscopia no infravermelho e a distribuição de carbono entre os elementos estruturais nos ácidos húmicos medida por ressonância magnética nuclear de ^{13}C (Tabelas 3 e 4) confirmaram a maior proporção de estruturas aromáticas em ácidos húmicos de Terras Pretas. A razão E_4/E_6 , que apresenta uma relação inversa com o conteúdo de anéis aromáticos condensados, foi menor nos ácidos húmicos de Terras Pretas. A concentração de radicais livres orgânicos (RLO), obtida por espectroscopia ressonância paramagnética eletrônica, é também frequentemente utilizada para estimar o grau de humificação. A maior concentração de radicais livres orgânicos em ácidos húmicos de Terras Pretas indica maior grau de humificação, comparado aos solos não antrópicos. Adicionalmente, os índices de humificação obtidos por fluorescência (A_4/A_1 e I_{485}/I_{400}) também indicaram uma maior humificação dos ácidos húmicos de Terras Pretas de Índio. A razão C/N indica o grau de incorporação de nitrogênio na estrutura das substâncias húmicas e também o grau de humificação. Altas razões de C/N normalmente significam baixos níveis de incorporações de nitrogênio, e baixo grau de humificação. No caso das Terras Pretas, entretanto, a razão C/N dos ácidos húmicos das Terras Pretas está dentro da faixa considerada para os compostos orgânicos estáveis presentes no solo (10-12) (Stevenson, 1994), o que é um indício da pouca mineralização secundária da matéria orgânica no solo (Rossel et al., 1989). A baixa razão (8,8) C/N dos ácidos húmicos obtida para os solos não antrópicos sugere uma estabilidade biológica mais baixa nesses solos e a possível presença de um processo de mineralização secundária da matéria orgânica.

A maior acidez total e presença de radicais carboxílicos e a maior razão O/H dos ácidos húmicos das Terras Pretas indica a presença de maior concentração de grupos ácidos funcionais que são os responsáveis pela maior reatividade química, e conseqüentemente, pelas interações dos ácidos húmicos com outros componentes nesses solos.

Os ácidos húmicos das Terras Pretas são, assim, mais estáveis e, ao mesmo tempo, possuem maior reatividade química, do que os ácidos húmicos de solos adjacentes não antrópicos. Assim, pelas suas características físico-químicas e estruturais, tão desejadas em solos tropicais, possibilitam uma maior acumulação de carbono e maior fertilidade e produtividade aos solos na mesma região, onde solos sem essa matéria orgânica são, muitas vezes, obstáculos à produção agrícola sustentável.

Origem das Características Estruturais de Ácidos Húmicos das Terras Pretas de Índio

As condições edáficas e climáticas que controlam o processo de humificação são similares para as Terras Pretas e solos adjacentes não antrópicos. A maior diferença está na maior concentração de carvão ou carbono pirogênico nas Terras Pretas. O carbono pirogênico é considerado um material inerte pouco suscetível à decomposição, mas, como mencionado anteriormente, esse material também sofre alguma degradação e transformação no solo. Na Figura 6, são mostrados espectros ^{13}C DP/MAS ressonância magnética nuclear (RMN) de ácidos húmicos extraídos de carvão de madeira de eucalipto (Trompowsky et al., 2005). Na figura, podem ser observados dois picos principais, um a 130 ppm representando o carbono em estrutura aromática (carbono arila, condensada, deficiente em H), e um outro a 169 ppm representando C em grupos carboxílicos ($-\text{COO}^-$). Por causa da baixa proporção de carbono em outras estruturas, pode ser constatada que a maior parte dos grupos carboxílicos está ligada às estruturas aromáticas. Sendo essas estruturas condensadas altamente resistentes à decomposição, os grupos carboxílicos associados a elas também apresentam maior resistência e persistência no solo.

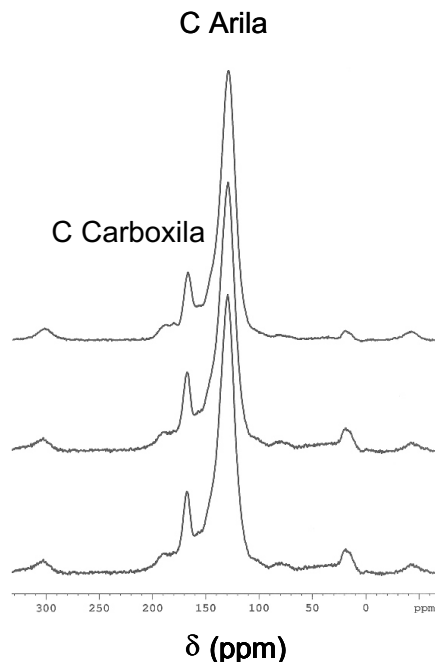


Fig. 6. Espectro obtido por ressonância magnética nuclear de polarização direta e rotação no ângulo mágico (^{13}C DP/MAS RMN) de ácidos húmicos extraídos de carvão de madeira de eucalipto. Fonte: adaptado de Trompowsky et al. (2005).

A Figura 7 apresenta um espectro ^{13}C VACP/MAS RMN de ácidos húmicos extraído de um solo naturalmente (sem ação antrópica) rico em carbono pirogênico (Benites et al., 2005b; Novotny et al., 2007). As principais estruturas verificadas nesse espectro são, similarmente aos espectros dos ácidos húmicos de carvão da Figura 6, carbono em estrutura aromática (130 ppm) e em grupos carboxílicos (169 ppm) provavelmente ligados a componente aromática. Nesse espectro, a contribuição da região dos grupos alquila (0-45 ppm) é maior do que aquela observada nos espectros de ácidos húmicos extraídos de carvão mostrados na Figura 6.

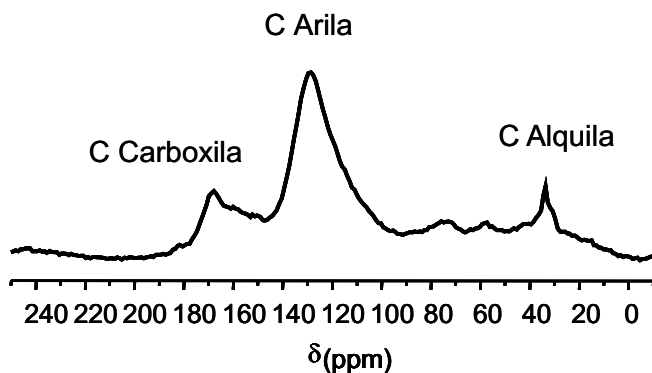


Fig. 7. Espectro de fração ácidos húmicos (AH) por espectroscopia de ressonância magnética nuclear de polarização cruzada e rotação no ângulo mágico com amplitude variável (^{13}C VACP/MAS RMN), extraída de um solo naturalmente rico em carbono pirogênico. Fonte: adaptado de Novotny et al. (2007).

A Figura 8 apresenta espectros representativos das frações ácidos húmicos extraídos de Terra Preta de Índio e de um Argissolo adjacente. A fração ácidos húmicos da Terra Preta apresenta os dois picos principais, o de 130 ppm, correspondente a carbono em estruturas aromáticas (carbono arila), e o de 169 ppm, correspondente a carbono em grupos carboxílicos, similarmente aos ácidos húmicos em carvão de eucalipto e em solo com alto teor de carbono pirogênico. Há também uma contribuição menor de estruturas alifáticas, como carbono de O-alquila de carboidratos (60-90 ppm), carbono de metoxila da lignina (45-60 ppm), e carbono alquila (0-45 ppm). Os ácidos húmicos do solo não antrópico, por sua vez, contêm uma proporção significativa de carbono em estruturas alifáticas, especialmente em carbono alquila (0-45 ppm) e carbono em metoxila (45-60 ppm). A presença conjunta do carbono de O-arila (140-160 ppm) e carbono de metoxila indica a maior contribuição de lignina à estrutura de AH em solos não antrópicos. Nas Terras Pretas, o sinal de carbono de O-arila foi menor e a contribuição do carbono arila (aromático poli-condensado) é maior. Adicionalmente, os grupos carboxílicos presentes nos ácidos húmicos das Terras Pretas, na maior parte, estão associados às estruturas aromáticas poli-condensadas (Novotny et al., 2007). Assim, os ácidos húmicos encontrados nas Terras Pretas, além de apresentarem um certo grau de recalcitrância, possuem grupos funcionais de carbono que apresentam reatividade.

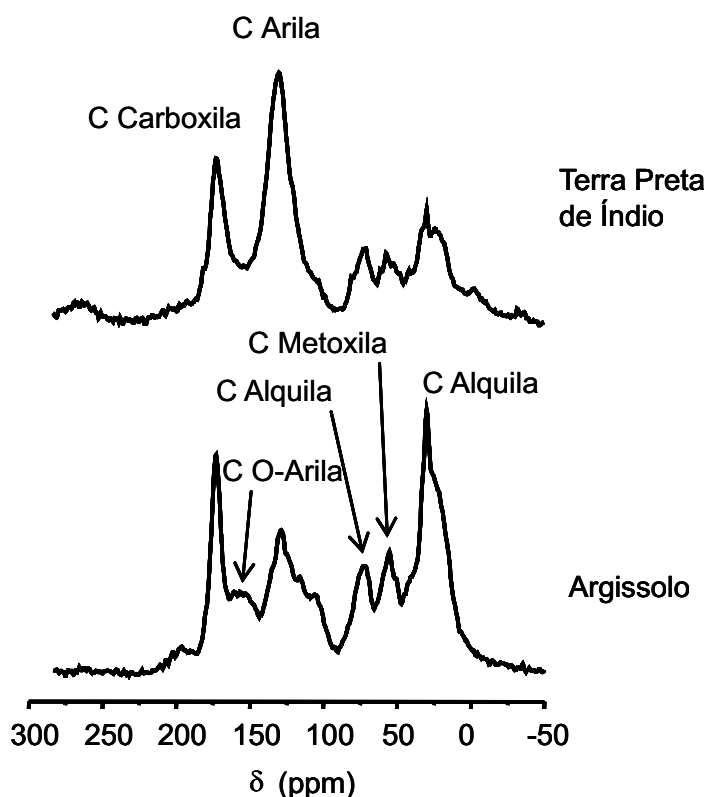


Fig. 8. Espectros representativos das frações AH extraídos de Terra Preta de Índio e de um argissolo adjacente em função do uso da técnica de RMN de polarização cruzada e rotação no ângulo mágico com amplitude variável (^{13}C VACP/MAS RMN).

Usando os dados obtidos por ^{13}C VACP/MAS ressonância magnética nuclear (RMN) e análise estatística multivariada, Novotny et al. (2007) verificaram que os AH de Terras Pretas contêm carbono em estruturas que são características de materiais de origem pirogênica. Isso significa que os ácidos húmicos de Terras Pretas, de fato, herdaram parte da sua estrutura do material pirogênico, ou seja, do carvão vegetal, que foi incorporado, acumulado e transformado no solo durante longo período de tempo, contribuindo, assim, para a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, e, conseqüentemente, para a formação de solos mais férteis e de maior potencial produtivo.

Considerações Finais

A matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia tem um papel chave em relação às suas propriedades e funções sobre diversos processos que compõem o sistema solo-planta. Em razão de sua elevada concentração, e principalmente devido às suas distintas propriedades físico-químicas, as Terras Pretas de Índio têm propriedades de fertilidade que, em ambientes tropicais úmidos, são únicas, por conferirem aos solos maior potencial de uso agrícola.

As Terras Pretas são ricas em matéria orgânica humificada, recalcitrante e, ao mesmo tempo, de elevada reatividade, possibilitando, assim, a existência de um ambiente favorável às reações de troca catiônica, com colóides inorgânicos e orgânicos do solo, e de complexação de cátions metálicos, entre outras. Por possuir matéria orgânica mais estável do que a matéria orgânica de solos não antrópicos, nas Terras Pretas de Índio, predominam os processos que favorecem a acumulação de carbono. Entretanto, é ainda desconhecido o efeito direto do carvão e das frações da matéria orgânica que herdaram algumas propriedades do carvão nos processos biológicos de acumulação de carbono no solo. São também desconhecidos os mecanismos de ação do carbono pirogênico sobre os processos do solo e sobre o crescimento as plantas.

As Terras Pretas, devido às suas propriedades favoráveis ao uso agrícola, são, em muitos casos, utilizadas pelas comunidades locais. A promoção do uso agrícola das Terras Pretas, sendo elas patrimônio histórico do Brasil (IPHAN, 1988), não é desejável. Entretanto, pela investigação científica, importantes informações podem ser obtidas sobre o funcionamento desses solos, que podem ser utilizadas para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo da fertilidade de Terras Pretas já sob uso agrícola, e para o desenvolvimento de novos sistemas de manejo dos solos tropicais, em benefício, principalmente, dos pequenos agricultores e comunidades locais na Amazônia.

A Fertilidade dos Solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central

Newton Falcão
Adônis Moreira
Nicolas Briam Comenford

Na Amazônia brasileira, cerca de 75 % dos solos de terra firme pertencem as classes dos Latossolos e dos Argissolos; ambos caracterizados por apresentar baixa concentração de bases trocáveis, minerais de argila de atividade baixa, como a caulinita, e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, baixa disponibilidade de fósforo, elevada acidez e, conseqüentemente, maior concentração de alumínio trocável e, em certos casos, manganês, ambos tóxicos para maioria das plantas (Sanchez et al., 1982).

Em toda a Amazônia é possível encontrar manchas de solo com um horizonte superficial espesso e de coloração preta ou marrom escura; normalmente contendo pedaços de cerâmicas, e recobrimdo, principalmente, solos cauliniticos intemperizados. Esta categoria de solo constitui uma das feições mais interessantes da paisagem Amazônica, e representa um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas. Reconhecidos regionalmente por sua alta fertilidade, tais solos são comumente conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) (Sombroek, 1966; Falesi, 1972; Sombroek, 2003; Kern, 2003; Falcão *et al.*, 2003). Adjacentes a estas, pode-se também encontrar manchas de solo com horizonte superficial menos espesso e de coloração levemente mais clara que o horizonte superficial da Terra Preta, sem a presença de fragmentos de cerâmicas e com nível de fertilidade inferior ao dela; porém, com fertilidade superior a dos solos predominantes na paisagem, tais como: Latossolos e Argissolos. Sombroek (1966) foi o primeiro a estudar esse tipo de solo e utilizou, para nominá-lo, o termo Terra Mulata (TM), relatando que esse solo foi desenvolvido por meio de longos períodos de cultivos sucessivos.

A Terra Preta de Índio (TPI) pode ser encontrada desde as bases inclinadas das montanhas das Cordilheiras dos Andes até a Ilha de Marajó no Oceano Atlântico, inserida em uma variedade de solos e paisagens, em dimensões que podem variar de menos de um hectare até alguns quilômetros quadrados (Wood & McCann, 1999; Sombroek, 2003; Kern, 2003).

O descarte de resíduos orgânicos pelos povos que habitavam a Amazônia deve ter sido de grande influência no aumento de matéria orgânica nas TPIs (Wood & McCann, 1999). A alimentação com produtos de origem vegetal como, por exemplo, a mandioca, o açaí, a bacaba etc. e de origem animal como ossos, carapaças de tatu, jabuti, caranguejo, conchas etc. produzem grande quantidade de matéria orgânica que não é consumida, permanecendo no local (Wood & McCann, 1999). Esses resíduos orgânicos também devem ser os responsáveis diretos pelo aumento dos teores de alguns elementos químicos nas TPIs (Kern, 2001). Pabst (1991), estudando as TPIs da região de Belterra-PA, verificou que o húmus nas TPIs é da ordem de seis vezes mais estável à decomposição que o húmus do Latossolo. A maior estabilidade da matéria orgânica da TPI, em relação à degradação, faz com que ela seja considerada pelos caboclos como inesgotável em termos de fertilidade.

Pequenos e médios produtores dos municípios de Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva trabalham em manchas de terra preta e terra mulata por várias décadas, não somente cultivando hortaliças como também espécies perenes como laranja, cupuaçu, coco, mamão, maracujá etc., em sistemas de monocultivos, cultivos consorciados e sistemas agroflorestais.

A maioria dos produtores relata que as manchas de TPI são extremamente férteis e não precisam de adubos, para obtenção de altas produtividades. Entretanto, a prática tem mostrado que as TPIs apresentam alguns nutrientes limitantes ao desenvolvimento e produtividade das culturas, levando alguns produtores a utilizarem, contraditoriamente, altas doses de corretivos e fertilizantes nas áreas de TPI. Esta exploração intensiva e a utilização de nutrientes de forma desbalanceada causam problemas de degradação química (Falcão *et al.* 2003; Falcão *et al.*, 2006), física (Teixeira & Martins, 2003).

Fertilidade do Solo

Reação do solo (pH em água, pH em KCl, Δ pH e Acidez trocável)

O índice de acidez de um solo é medido pelo valor de seu pH, podendo-se utilizar uma destas três metodologias para sua determinação: (1) solução de água desionizada na proporção 1:2,5 água:solução; (2) solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ na proporção de 1:2,5 solo:solução e (3) solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na proporção de 1:2,5 solo:solução (Raij, 1991; Fassbender & Bornemisza, 1994). Este último método é o mais recomendado para medir o pH de solos agriculturáveis, onde o uso de fertilizantes e corretivos agrícolas são práticas comuns, entretanto, seu uso ainda não é generalizado.

A acidez do solo limita a produção vegetal de forma indireta. Ligada à disponibilidade de macro e micronutrientes e à disponibilização de alguns elementos em níveis tóxicos como o Al e o Mn, ela pode ser provocada pelo aumento da concentração de CO₂, proveniente das chuvas ou da respiração dos microorganismos, das raízes e pela decomposição da matéria orgânica. A remoção das bases absorvidas pelas culturas e a lixiviação também colaboram com o aumento da acidez do solo. Todos esses fatores que influenciam no índice de acidez dos solos podem estar presentes nos sistemas agrícolas desenvolvidos nas TPIs, alguns com diferentes graus de intensidade.

Amostras de solos coletadas da camada superficial de dez sítios de TPI, localizados em alguns municípios próximos à cidade de Manaus-AM, revelaram valores de pH (H₂O) variando entre 4,32 e 6,61 com média de 5,68. Os valores do pH (KCl 1,0 mol L⁻¹) variaram na faixa de 3,77 e 6,01 com média de 4,95.

Na camada subsuperficial, os valores de pH(H₂O) variaram entre 4,15 e 6,71 com média de 5,75; e o pH(KCl 1,0 mol L⁻¹) variou na faixa de 3,79 e 6,26 com média de 4,97. Falcão et al. (2003), determinando o pH de amostras de solos de TPI, observaram a seguinte ordem decrescente: pH(H₂O) > pH(CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) > pH(KCl 1,0 mol L⁻¹).

Os solos adjacentes às TPI o pH (H₂O) apresentaram valores mais elevados que os valores determinados com CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e KCl 1,0 mol L⁻¹ (Fig. 1). Essa ordem normalmente acontece nas camadas superficiais dos solos adjacentes, porém, com menos frequência nas camadas de subsuperfície, podendo até mesmo apresentar ordem contrária.

Esses valores mostram que as TPIs apresentam maiores valores de pH_(H₂O), quando comparadas com os valores encontrados nos solos adjacentes (Latossolos e Argissolos).

Os Latossolos são extremamente ácidos e em geral apresentam pH_(H₂O) entre 4,0 e 5,0 (Sombroek, 1966). Amostras de Latossolo Amarelo Distrófico, coletadas no município de Itacoatiara, revelaram valores médios de pH de 4,2 na camada superficial (Falcão & Silva, 2004). Amostras de Argissolos Vermelhos Amarelos coletadas da camada de 0-20 cm, em plantios agroflorestais do município de Manacapuru, mostraram valores de pH_(H₂O) em torno de 4,5 (Falcão, 2001).

O Δ pH (diferença entre os valores do pH em água e pH em KCl) fornece informações sobre o grau de intemperização e serve para indicar o balanço das cargas elétricas no solo. Quando o valor de Δ pH é negativo indica que ocorre, nas amostras de solo, predominância de argilas silicatadas, enquanto um valor de Δ pH positivo está relacionado com o predomínio de óxidos de ferro e alumínio (Kiehl, 1979). Quando a amplitude de variação entre os valores de pH em KCl mol L⁻¹ e pH_(H₂O) é grande, o valor de Δ pH é mais negativo, e esta magnitude geralmente está associada a uma quantidade de Al trocável mais elevada (Kiehl, 1979; Fassbender, 1982). Essa relação foi observada em amostras de TPI coletadas na Fazenda Jiquitaia (Rio Preto da Eva - AM), onde o delta pH foi mais negativo (-1,48), e a quantidade média de Al³⁺ foi mais alta (0,96 cmol_c kg⁻¹) que em outras TPIs estudadas. No Sítio da Costa do Laranjal (Manacapuru - AM) as margens do rio Solimões, o Δ pH apresentou um valor de -0,29 e o teor médio de Al³⁺ foi mais baixo (0,60 cmol_c kg⁻¹) confirmando a relação direta entre os valores negativos

do ΔpH e os teores de Alumínio trocável. A amplitude de variação do ΔpH nas TPI estudadas variou de -1,48 e -0,29 na camada superficial e de -1,36 e -0,05 na camada de subsuperfície. Análises de regressão, realizadas entre $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e ΔpH , Al trocável e $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ em mais de 100 amostras de TPI, mostraram uma relação direta entre $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e ΔpH (Fig. 2) e uma relação inversa entre o $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e o teor de Al trocável (Fig. 2).

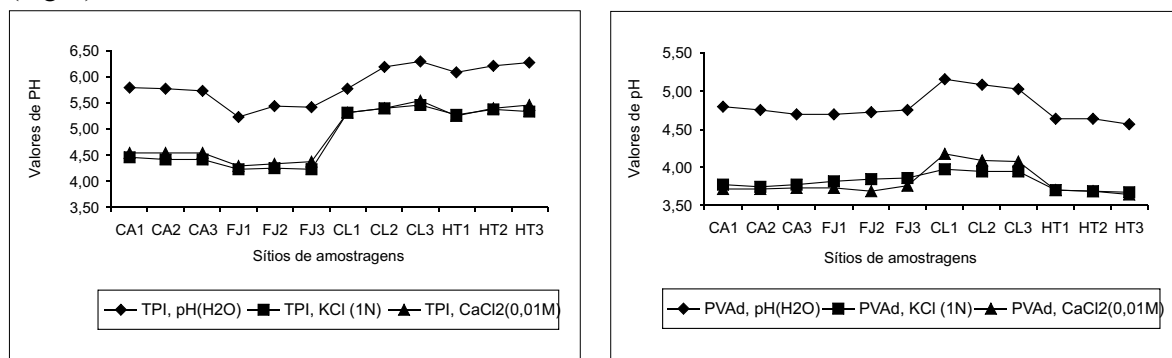


Fig. 1. Valores de pH determinados em amostras de Terras Pretas de Índio (TPI) e solos adjacentes (PVAd) de Amostras coletadas nas localidades da Costa do Açutuba (CA), Fazenda Jiquitaia (FJ), Costa do Laranjal (CL) e Hatahara (HT), com diferentes soluções (H_2O , KCl 1,0 mol L^{-1} e CaCl_2 0,01 mol L^{-1}).

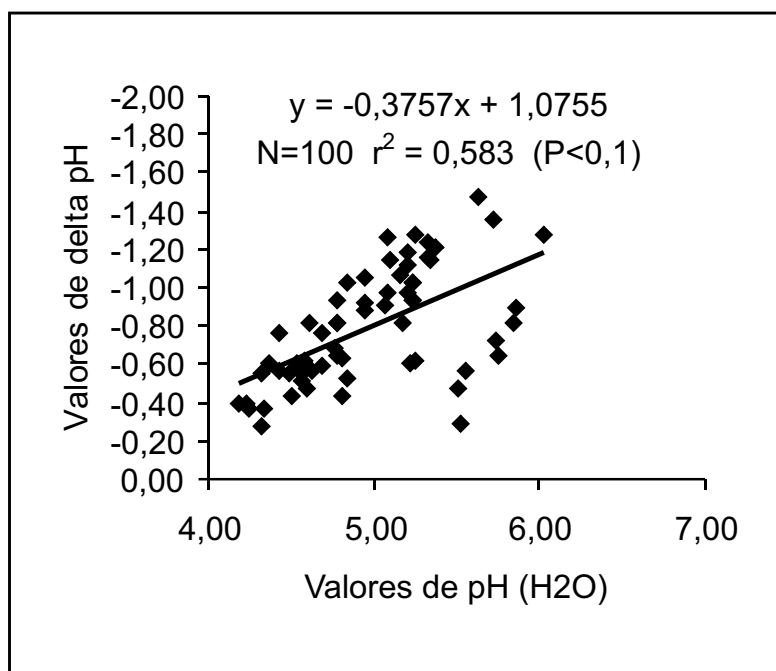


Fig. 2. Relação entre $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e ΔpH , determinados em amostras de TPI.

Nas TPIs, a relação inversa do teor de Al^{3+} trocável com o $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ foi muito evidente (Fig. 3). O valor máximo de Al^{3+} encontrado para um conjunto de 100 amostras simples analisadas, da camada de 0-20 cm, foi de 1,60 $\text{cmol}_\text{c} \text{ kg}^{-1}$, com média de 0,20 $\text{cmol}_\text{c} \text{ kg}^{-1}$ e valor mínimo de 0,01 $\text{cmol}_\text{c} \text{ kg}^{-1}$. Na camada de 20-40 cm de profundidade, o valor máximo de Al^{3+} foi de 1,90 $\text{cmol}_\text{c} \text{ kg}^{-1}$, com média de 1,15 $\text{cmol}_\text{c} \text{ kg}^{-1}$ e valor mínimo de 0,01 $\text{cmol}_\text{c} \text{ kg}^{-1}$. Esses resultados mostram que, em geral, as TPIs não apresentam problemas com toxidez de alumínio.

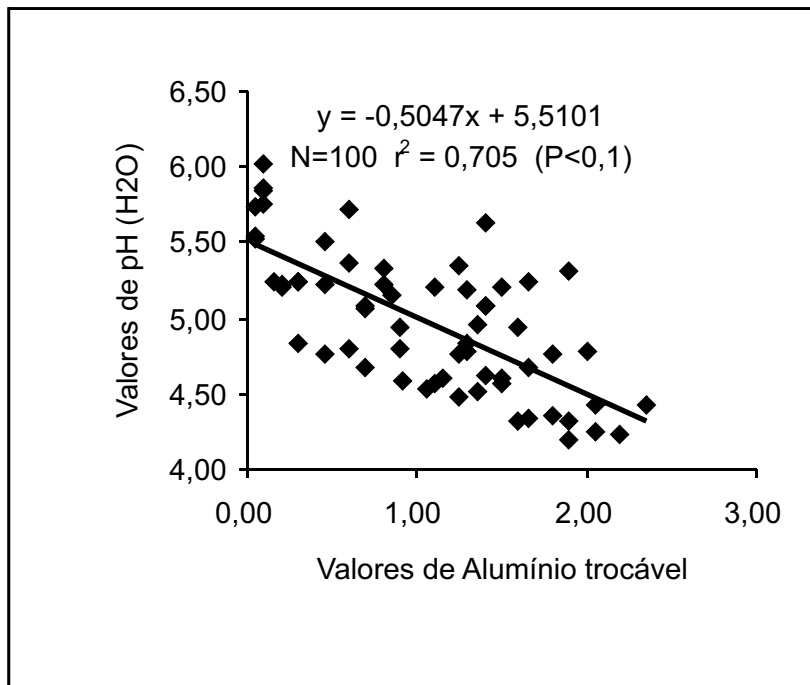


Fig. 3. Relação entre Al trocável e $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ determinados em amostras de TPI.

A soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions efetiva (t), a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%)

Variáveis como a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC), a soma de bases (SB) e a saturação por Bases (V) apresentam valores muito mais altos nas TPIs quando comparados com os solos adjacentes (Tabela 1). Esses elevados valores da CTC não são somente resultados do alto teor de material orgânico presente, mas também de uma maior densidade de cargas por unidade de carbono (Sombroek et al., 1993; Liang et al., 2006). Esta propriedade do carbono orgânico é específica para solos com alto conteúdo de carvão pirogênico como a TPI (Glaser et al., 2001; Cunha et al., 2007, neste volume). As razões para uma elevada eficiência do carvão pirogênico em reter nutrientes são: (a) o carvão pirogênico apresenta maior superfície específica do que o carvão resultante da queima da madeira em temperaturas mais elevadas e (b) apresenta maior densidade de carga negativa por unidade de área superficial, conseqüentemente uma maior densidade de carga (Liang et al., 2006). Esta elevada densidade de carga pode, em princípio, causar uma maior oxidação do próprio carbono pirogênico ou por meio de adsorção do carbono não pirogênico (Lehmann et al., 2005). Ambos os processos têm sido observado nas Terras Pretas de Índio (Liang et al., 2006).

Vieira (1988) estudando Latossolos Amarelos distróficos da Amazônia encontrou valores na faixa de 0,40 a 0,35 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de cálcio trocável e 0,33 a 0,20 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de magnésio trocável, até a profundidade de 63 cm, extraídos com solução de KCl 1,0 mol L^{-1} . No horizonte antrópico das TPIs pode-se encontrar teores de Ca trocável acima de 10,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e magnésio trocável acima de 3,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Sombroek, 1966; Falesi, 1972; Sombroek, 2003; Kern, 2003; Falcão *et al.*, 2003). O Ca e o Mg são os cátions básicos que mais contribuem para os altos valores da capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) e para a soma de bases (SB) nas TPI.

Tabela 1. Atributos químicos de amostras de Terra Preta de Índio, da camada de 0-20 cm, coletadas em dez sítios localizados no Estado do Amazonas.

| Valores | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Al ⁺⁺⁺ | CTC | SB | V | m |
|-------------|------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | cmol _c kg ⁻¹ | | | | | | % | |
| Média | 0,17 | 7,07 | 1,31 | 0,20 | 8,75 | 8,55 | 95,20 | 4,80 |
| Máximo | 0,40 | 15,46 | 3,25 | 1,60 | 17,52 | 17,50 | 100,00 | 48,71 |
| Mínimo | 0,05 | 0,85 | 0,00 | 0,00 | 2,64 | 1,68 | 51,29 | 0,00 |
| D.Padrão | 0,07 | 3,89 | 0,68 | 0,37 | 3,95 | 4,14 | 11,60 | 11,60 |
| C.V. | 42,32 | 55,07 | 52,02 | 189,52 | 45,11 | 48,38 | 12,19 | 241,67 |

Valores obtidos de 100 amostras. CTC Capacidade de troca de cátions; SB Soma de Bases; V Saturação de bases; m saturação de Alumínio.

O teor médio de potássio trocável encontrado nas amostras analisadas (Tabela 1) está dentro da faixa considerada adequada, que é de 0,16 a 0,30 cmol_c kg⁻¹ (Alcarde et al., 1991). O baixo teor de K trocável, comparativamente aos altos teores de Ca e Mg trocáveis nas TPIs, tem, provavelmente, induzido a um desbalanço nutricional nas plantas cultivadas nas TPIs, afetando a absorção, principalmente de K, pela inibição competitiva com Ca e Mg. Esse desbalanço entre estas bases acaba provocando um desequilíbrio na absorção dos nutrientes (Malavolta, 1989). Considerando os valores de alumínio trocável e a porcentagem de saturação por alumínio do complexo de troca (Tabela 1), observa-se que as TPI não apresentam problemas de toxidez de alumínio. O valor mais alto de Al³⁺ encontrado nas 100 amostras de Terra Preta analisadas foi de 1,60 cmol_c kg⁻¹ e o menor valor chegou a zero.

Nitrogênio

As concentrações de N total nas TPIs são, em geral, muito mais altas que nos solos adjacentes (Lehmann et al., 2003). Entretanto, esse fato não pode ser generalizado para as TPIs estudadas até o momento, os maiores teores de N total nas TPIs, nem sempre resultam em N prontamente disponível para as plantas. Alguns trabalhos têm revelado baixa concentração de N-NO₃ nas TPIs, comparando com os valores encontrados nos solos adjacentes (Lehmann et al., 2003). A baixa disponibilidade de N-NO₃ refletiu numa baixa concentração de N foliar na cultura do caupi cultivado em amostras de TPI, se comparado com o N foliar do caupi cultivado em solos adjacentes sob condições controladas (Lehmann et al., 2003). Estudos adicionais tornam-se necessários para comprovar se a baixa produção do feijão caupi cultivado em amostras de TPI no experimento de Lehmann et al. (2003) foi devido aos baixos teores de N-NO₃.

Apesar dos altos teores de N total na TPI, Grosh (2005), em estudo sobre a dinâmica e variabilidade espacial da fertilidade do solo do Sítio Hatarara Iranduba (AM), não encontrou correlação significativa entre N total e o P disponível do solo obtido com o extrator Mehlich 3 (Tabela 3).

Fósforo

O fósforo é um componente vital para todos os seres vivos, sendo o segundo nutriente mineral mais abundante no corpo humano, onde 80% dele é sequestrado nos ossos e dentes, o que o faz responsável por 20% dos minerais do corpo. Nas plantas o fósforo é necessário para a fotossíntese, respiração, função celular, transferência de gens e reprodução (Stauffer & Sulewski, 2004). Outrossim é um dos nutrientes mais importantes para a produção das culturas, visto que grande parte dos solos naturais não

contém fósforo disponível suficiente para proporcionar altas produtividades; haja vista o total de fósforo contido na crosta terrestre ser de aproximadamente 0,12%, podendo variar de 0,02 a 0,5% no solo, com uma média de 0,05%.

Sombroek (1966), estudando perfis de TPI da região de Belterra, encontrou elevados teores de P_2O_5 total, tanto na camada superficial como na de subsuperfície. Ele observou também que os valores mais altos foram encontrados nas TPIs que apresentaram textura muito argilosa. Contudo, o menor valor para as TPIs mensurado por Sombroek (1966) foi de P de 100 mg kg⁻¹ de P_2O_5 , sendo este valor encontrado na amostra com textura franco-arenosa (Tabela 2). Observou-se também, nesse estudo, uma relação entre os teores de P total nas TPIs e capacidade de troca de cátions potencial (CTCp). Uma possível explicação para esta relação direta entre a CTCp e os valores de P_2O_5 é aumento da atividade da matéria orgânica causado pelo fósforo, formando complexos com esta. Esse fenômeno ocorre em menor intensidade nas camadas mais profundas onde os teores de matéria orgânica são menores.

Tabela 2. Correlação de Pearson entre alguns atributos solo de TPI Sítio Hatarara, Iranduba (AM), $p < 0,01$.

| | C | N | C/N | P | K | Ca |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| N total | 0,993** | | | | | |
| C/N | 0,676** | 0,390** | | | | |
| P | 0,206** | 0,013NS | 0,571** | | | |
| K | 0,687** | 0,649** | 0,427** | 0,260** | | |
| Ca | 0,657** | 0,514** | 0,696** | 0,831** | 0,687** | |
| Mg | 0,778** | 0,766** | 0,458** | 0,366** | 0,868** | 0,690** |

N total e C orgânico Método do analisador CHNS (Varian)

P, K, Ca e Mg Extrator Mehlich 3

Fonte: Grosh (2005)

Fracionamento do fósforo

Os primeiros estudos sobre fracionamento do P em solos foram desenvolvidos por Fraps (1906) e Fisher & Thomas (1935). Os métodos desenvolvidos por esses autores não conseguiam separar o fosfato de ferro do fosfato de alumínio. Posteriormente, Turner & Rice (1954) descobriram que o fluoreto de amônio neutro era capaz de dissolver o fosfato de alumínio, mas não dissolvia o fosfato de ferro. Chang & Jackson (1957) desenvolveram uma metodologia de fracionamento do fósforo capaz de caracterizar e quantificar o fósforo ligado ao cálcio, ferro, alumínio e o fósforo ligado a elementos químicos com caráter redutor. O trabalho desses estudiosos foi a base para todos os outros métodos de fracionamento desenvolvidos posteriormente, baseados na solubilidade variável de P. Um método de fracionamento, baseado no trabalho de Chang & Jackson (1957) foi desenvolvido por Hedley et al. (1982), que tem sido mais utilizado atualmente após modificações (Conti & Richter 1994; Levy & Schlesinger 1999; Guppy et al., 2000). Nesse tipo de fracionamento do P inorgânico e orgânico no solo, após extrações iniciais do P solúvel e P solúvel com resina, o P é extraído e classificado em quatro grupos: fosfato de cálcio, fosfato de alumínio, fosfato de ferro e o fosfato solúvel redutor extraído após a remoção das três formas acima mencionadas. Os métodos de fracionamento mencionados acima têm sido usados para avaliar a biodisponibilidade das formas de fósforo menos solúveis (Potter et al., 1991; Guppy et al., 2000) (Tabela 3).

Tabela 3. Teor total de fósforo em amostras de solos em sítios de Terra Preta de Índio de diferentes localidades na Amazônia Brasileira.

| Local da amostragem | Valores mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹ | | | Classe textural | Horizonte ou camada (cm) | Metodologia utilizada | Referência |
|---------------------|--|------|-------|-----------------|--------------------------|---|-----------------|
| | Min | Max. | Média | | | | |
| Belterra - PA | 120 | 1350 | 950 | Muito argiloso | Superficial | Ataque sulfúrico (H ₂ SO ₄), d =1,47 | Sombroek (1966) |
| Belterra - PA | 80 | 300 | 150 | Muito argiloso | Subsuperfície | Ataque sulfúrico (H ₂ SO ₄), d =1,47 | Sombroek (1966) |
| Belterra - PA | 60 | 370 | 150 | Franco arenoso | Superficial | Ataque sulfúrico (H ₂ SO ₄), d =1,47 | Sombroek (1966) |
| Belterra - PA | 70 | 140 | 100 | Franco arenoso | Subsuperficial | Ataque sulfúrico (H ₂ SO ₄), d =1,47 | Sombroek (1966) |

Lima (2001) estudando as diferentes formas de P em amostras de Latossolo Amarelo com A antrópico, coletadas no sítio Hatahara, Município de Iranduba, utilizando o método descrito por Kelly *et al.* (1983), encontrou teores totais médios de 6057 mg kg⁻¹ de P₂O₅, sendo 4548 mg kg⁻¹ solúvel em ácido cítrico, 328 mg kg⁻¹ na forma de P-AL, 344 mg kg⁻¹ na forma de P-Fe, 905 mg kg⁻¹ ligado ao Ca. Lehmann *et al.* (2004) determinaram as diferentes formas de P em amostras de TPI coletadas no Município de Rio Preto da Eva, encontrando 307,3 mg kg⁻¹ de P prontamente disponível, 343,4 mg kg⁻¹ de P ligado ao cálcio e 3096 mg kg⁻¹ de P total. As amostras de da comunidade do Marajá, baixo Rio Negro (AM), revelaram valores de 76,4 mg kg⁻¹ de P disponível, 5,5 mg kg⁻¹ de P ligado ao cálcio e 192,5 mg kg de P total. Silva (2006) avaliando as diferentes formas de P em amostras de TPI da camada superficial, encontrou teores médios de 10,5 mg kg⁻¹ de P-inorgânico, 175 mg kg⁻¹ de P-Al, 120 mg kg⁻¹ de P-Fe e 417 mg kg⁻¹ de P-Ca em amostras coletadas na Costa do Açutuba, Município de Iranduba. Amostras coletadas na Fazenda Jiquitaia revelaram teores médios de 1,8 mg kg⁻¹ de P-inorgânico, 304 mg kg⁻¹ de P-Al, 108 mg kg⁻¹ de P-Fe e 167 mg kg⁻¹ de P-Ca. Na Costa do Laranjal, Município de Manacapuru, as amostras avaliadas mostraram valores médios de de 1,7 mg kg⁻¹ de P-inorgânico, 396 mg kg⁻¹ de P-Al, 138 mg kg⁻¹ de P-Fe e 275 mg kg⁻¹ de P-Ca. O fosfato de cálcio é a forma de P mais útil nas investigações de TPI, sendo um indicador de atividade humana, particularmente nas áreas tropicais com solos ácidos e intemperizados (Lehmann *et al.*, 2004).

Fósforo biodisponível

O P no solo pode estar presente nestas quatro formas distintas: (1) fósforo na forma iônica na solução do solo; (2) fósforo adsorvido na superfície dos constituintes inorgânicos do solo; (3) fósforo mineral tanto na forma cristalina como amorfa; e (4) fósforo como componente da matéria orgânica do solo (Barber, 1995). O ácido fosfórico, H₃PO₄, dá por dissociação de três espécies iônicas diferentes: H₂PO₄⁻, HPO₄⁻² e PO₄⁻³, sendo a primeira predominantemente na faixa de pH 4,0 - 8,0, comumente encontrada no solo (Sanchez & Cochrane, 1980; Fasbender, 1982).

Na maioria dos solos ácidos, a concentração de íons Fe e Al excede em muito a dos íons H₂PO₄, conseqüentemente os íons H₂PO₄ reagem quimicamente com os íons Al³⁺ e o Fe²⁺ solúveis, formando compostos fosfatados insolúveis, restando quantidades diminutas de íon H₂PO₄ imediatamente assimiladas pelos vegetais (Fasbender, 1982; Brady, 1983). Tendo em vista a condição ácida da maioria dos solos brasileiros, quase todo o P na solução (P extraído em água) está na forma de íons H₂PO₄⁻, forma pela qual o P é absorvido pelas plantas. O P(lábil), e a forma de P que está trocável. Sato & Comerford (no prelo) classificam formas de P inorgânica biodisponível como trocável de equilíbrio e trocável de ligantes.

A primeira é uma fonte de P que qualquer organismo pode usar porque está prontamente disponível quando o nível de P na solução está diminuído (exemplo: absorção pelas plantas). O segundo requer que a planta tenha um mecanismo, usando ligantes como oxalato, trocando os ligantes pelo fósforo ou dissolvendo o fósforo que está ligado ao Ca-P, Fe-P, ou Al-P. Nos solos predominantes da Região Amazônica, o teor de P disponível na camada arável é muito baixo; entretanto, nas terras pretas de índio, o P disponível pode alcançar valor acima de 600 mg kg⁻¹. Tanto o fósforo, como também o manganês pode ser utilizado com certa segurança para delimitar os sítios de assentamento humanos (Sombroek, 1966; Falesi, 1972).

Tabela 4. Teor de fósforo disponível em amostras de solos de Terra Preta de Índio de diferentes localidades da Amazônia Brasileira.

| Local de amostragem | Valores | | | Classe textural | Horizonte ou camada | Metodologia utilizada | Referência |
|-------------------------|---------|--------|--------|-----------------|---------------------|---|---------------------|
| | Mín. | Max. | Média | | | | |
| Belterra - PA | 6,5 | 66,0 | 40 | Muito argiloso | Superfície | Bray (HCl, 0,1N + NH ₄ F, 0,5 mol L ⁻¹) | Sombroek (1966) |
| Belterra - PA | 3,8 | 65,1 | 35 | Muito argiloso | Subsuperfície | Bray (HCl, 0,1N + NH ₄ F, 0,5 mol L ⁻¹) | Sombroek (1966) |
| Belterra - PA | 3,2 | 98,8 | 40 | Arenoso | Superficial | Truog (H ₂ SO ₄ , 0,01-0,001 N + (NH ₄) ₂ SO ₄ , 0,05 mol L ⁻¹) | Sombroek (1966) |
| Belterra - PA | 6,7 | 31,2 | 20 | Arenoso | Subsuperfície | Truog (H ₂ SO ₄ , 0,01-0,001 N + (NH ₄) ₂ SO ₄ , 0,05 mol L ⁻¹) | Sombroek (1966) |
| Cachoeira Porteira - PA | 139 | 321 | | Argiloso | Superfície | Mehlich-1 (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) | Kern & Kampt (1989) |
| Cachoeira Porteira - PA | 70 | 193 | | Argiloso | Superfície | Mehlich-1 (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) | Kern & Kampt (1989) |
| Costa do Laranjal | 66,86 | 96,12 | 81,81 | Argiloso | Superfície | Mehlich-1 (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) | Kely & Falcão 2004 |
| Costa do Laranjal | 27,52 | 35,33 | 30,64 | Argiloso | Superfície | Mehlich-3 (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) | Kely & Falcão 2004 |
| Costa do Laranjal | 63,95 | 90,24 | 77,44 | Argiloso | Superfície | Bray (HCl, 0,1N + NH ₄ F, 0,5 mol L ⁻¹) | Kely & Falcão 2004 |
| Costa do Laranjal | 40,53 | 50,93 | 44,79 | Argiloso | Superfície | Olsen Modificado | Kely & Falcão 2004 |
| Costa do Laranjal | 174,14 | 187,15 | 181,13 | Argiloso | Subsuperfície | Mehlich-1 (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) | Kely & Falcão 2004 |
| Costa do Laranjal | 70,44 | 76,29 | 73,65 | Argiloso | Subsuperfície | Mehlich-3 (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) | Kely & Falcão 2004 |
| Costa do Laranjal | 108,17 | 126,57 | 119,07 | Argiloso | Subsuperfície | Bray (HCl, 0,1N + NH ₄ F, 0,5 mol L ⁻¹) | Kely & Falcão 2004 |
| Costa do Laranjal | 101,32 | 111,72 | 106,29 | Argiloso | Subsuperfície | Olsen Modificado | Kely & Falcão 2004 |

Potássio

Tisdale & Nelson (1975) classificam o potássio segundo critérios de disponibilidade do nutriente para as plantas, em: relativamente indisponível, lentamente disponível e prontamente disponível. Outros autores, como Ritchey (1982), seguem um critério químico: o K ocorrendo na forma de componente estrutural de minerais primários, como micas e feldspatos potássicos; temporariamente fixado entre as camadas de argilas 2:1; trocável, facilmente extraível por sal neutro, como acetato de amônio; presente na solução do solo (Ribeiro et al., 2005).

O teor médio de potássio na crosta terrestre é de 2,6%, constituindo o sétimo elemento químico, na ordem decrescente, em abundância. Nos solos os teores de K variam entre 0,1% e 3,0%, com valores mais frequentes ao redor de 1,0% (Ribeiro et al., 2005). Lopes (1982) revisando vários trabalhos de avaliação dos teores de potássio em solos do Brasil, relata que os teores de K total na maioria dos solos brasileiros ficou em torno de 0,05% a 2,5%. O teor total de potássio (% de K_2O), na camada arável dos Latossolos fica em torno de 0,14 %. Em regiões úmidas, o conteúdo de potássio trocável mais solúvel é, em geral, menor do que 200 mg kg^{-1} e raramente maior do que 600 mg kg^{-1} . No Estado de São Paulo os teores de K trocáveis considerados adequados no solo são de 0,16 a $0,30 \text{ cmolc kg}^{-1}$. Para o Estado de Minas Gerais, esses valores considerados adequados ficam na faixa de 0,18 a $0,31 \text{ cmolc kg}^{-1}$ (Ribeiro et al., 2005). Na solução do solo a concentração de K é da ordem de 2 a 6 mg kg^{-1} em média (Malavolta, 2006). Semelhante aos solos adjacentes (Latosolos, Argissolos e Neossolos) e em decorrência do hábito alimentar das populações que não utilizavam sais, exceto as amostras coletadas nos sítios localizados em Marabá (Smith, 1980) e Iranduba (Grosh, 2005), os solos de TPI apresentam baixos teores de K disponível (Tabela 8).

Diversos trabalhos de caracterização química das Terras Pretas têm mostrado que o potássio não está presente em altas concentrações, da mesma forma como ocorre com os valores encontrados para P, Ca e Mg. Sombroek (1966) relata que a percentagem de Mg^{++} é, normalmente, menor que 1/5 da percentagem de Ca^{++} . O K^+ e o Na^+ juntos, em geral, apresentam menos de 2% da CTC potencial. Vieira (1988) descrevendo perfis de Latossolo Amarelo com A antrópico do Município de Manacapuru encontrou uma relação $Ca^{++} / Mg^{++} / K^+$ trocáveis da ordem de 9,39; 1,91 e $0,07 \text{ cmolc kg}^{-1}$ respectivamente. Esse mesmo autor encontrou um teor médio de K^+ trocável, até a camada de 63 cm, de $0,046 \text{ cmolc kg}^{-1}$. Uma análise descritiva do teor de K^+ trocável, realizada em 100 amostras simples de TPI, coletadas da camada de 0-20 cm, revelou um teor médio de 0,17; máximo de 0,40 e mínimo de $0,05 \text{ cmolc kg}^{-1}$ de K^+ . Esses resultados mostram que a Terra Preta apresenta teor médio de K^+ trocável muito próximo do limite inferior da faixa considerada adequada, tanto para os solos do Estado de São Paulo como também para os solos do Estado de Minas Gerais, podendo-se inferir que a utilização intensiva desses solos, sem adubação complementar com alguma fonte de potássio, pode ocasionar deficiência desse nutriente para as culturas.

Falcão & Borges (2006) avaliando o efeito da fertilidade da Terra Preta no estado nutricional e na produtividade do mamão Havaí (*Carica papaya* L.), encontraram o menor valor de potássio na gleba de Terra Preta não adubada com $0,09 \text{ mg.kg}^{-1}$ e o maior valor na gleba de Terra Mulata não adubada, com $0,19 \text{ mg.kg}^{-1}$ de potássio trocável. Esse estudo mostrou que existe um desbalanço nutricional muito grande, provocado pelos altos teores de P, Ca, Mg e baixo teor de K, interferindo, provavelmente na disponibilidade de Zn, Mn.

Micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco)

Diferente dos Neossolos flúvicos, localizados nas margens dos rios de águas barrentas (rio Solimões, Amazonas, Madeira, entre outros), caracterizados por apresentarem altos teores de Cu, Fe, Mn e Zn e dos Latossolos e Argissolos, que não sofrem influência das enchentes dos rios ($\pm 70\%$ dos solos da região), com altos teores de B e Fe, os solos antrópicos (TPI) apresentam baixos valores de B, Cu e Fe e altos de Mn e Zn disponível (Tabelas 9 e 10).

Dos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn disponível, presentes na fração argila, analisados por Lima (2001), os resultados revelaram altas concentrações de Mn e Zn disponível no horizonte A antrópico da TPI, quando comparados com os horizontes B do mesmo solo e com os horizontes A e B dos adjacentes (Tabela 10). Essas altas concentrações de Mn e Zn na TPI também foram verificadas por Kern & Kämpf (1989) em sítios localizados no Município de Oriximiná (PA), Amazônia Oriental.

O teor de Mo disponível na camada superficial do sítio de TPI da Estação Experimental do Caldeirão - Embrapa, (Irlanduba, AM) apresentou $0,237 \pm 0,014 \text{ mg kg}^{-1}$, não havendo outros registros de análise desse nutriente em solos antrópicos. Comparativamente, o teor médio de Mo na TPI mostrou ser superior a solos de alta fertilidade, como a Terra Roxa Estruturada ($0,11 \text{ mg kg}^{-1}$) e o Latossolo Roxo Eutrófico ($0,09 \text{ mg kg}^{-1}$) do Estado de São Paulo (Malavolta, 2006).

Apesar dos altos teores de matéria orgânica, as TPIs mesmo estando localizadas em áreas de terra firme, apresentam baixos teores de B disponível, assemelhando-se aos teores dos solos das várzeas. Com relação aos Latossolos e Argissolos (Tabela 8), os teores de B estão dentro da faixa considerada adequada por Alvarez Venegas et al. (1999), com o extrator água quente. Nesses solos a manutenção dos altos teores ocorre, possivelmente, devido à baixa lixiviação ocasionada pela fixação do B aos sesquióxidos e pela alta reciclagem, o que não ocorre em solos de várzea, em que a lixiviação decorrente das enchentes e a adsorção da matéria orgânica são as principais causas dos baixos teores de B disponível.

Tabela 6. Teores de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn disponível em amostras de Latossolo, Argissolo, Neossolo e Terra Preta do Índio (TPI) da Amazônia Central.

| Solos | B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| mg kg^{-1} | | | | | | |
| Latossolo | 0,70 | 0,30 | 455,0 | 0,65 | 0,472 | 0,36 |
| Argissolo | 0,64 | 0,13 | 182,0 | 0,11 | 0,319 | 0,11 |
| Neossolo | 0,13 | 3,91 | 631,6 | 248,64 | 0,786 | 8,90 |
| TPI | $0,15 \pm 0,10$ | $1,23 \pm 0,57$ | $73,1 \pm 68,9$ | $73,12 \pm 68,86$ | $0,237 \pm 0,014$ | $18,85 \pm 21,82$ |
| Adequado ¹ | 0,61 - 0,90 | 1,3 - 1,8 | 31 - 45 | 9 - 12 | 0,09 - 0,102 | 1,6 - 2,2 |

B disponível - extrator água quente; Cu, Fe, Mn e Zn disponível extrator Mehlich 1; Mo - EDTA.

¹Alvarez Venegas et al. (1999); ²Média dos teores encontrados em solos de alta fertilidade do Estado de São Paulo (Malavolta, 2006).

Fonte: Rodrigues (1998); Moreira (2007).

As menores quantidades de Fe e Mo disponível na TPI, provavelmente, são consequência dos elevados teores e da forma do carbono orgânico dos solos de TPI (vide Cunha et al., 2007, neste volume e Madari et al., 2007, *idem*), atuando como complexante desses elementos. Lehmann et al. (2003), em estudo sobre a disponibilidade e lixiviação de nutrientes em amostras de solos antrópicos, verificaram que o aumento do conteúdo C na forma de carvão acarretou em incremento na disponibilidade de Cu e Zn disponível no solo.

Trabalho realizado por Rodrigues (1998) sobre o efeito da disponibilidade de micronutrientes nos solos da Amazônia, em que se pratica o cultivo de arroz (Tabela 6), mostrou que no cultivo na TPI, mesmo com altos teores de Cu e Fe disponível, os teores foliares ficaram abaixo do considerado adequado por Reuter et al. (1997). Loué (1993) relata a presença de antagonismo do Cu em solos com altos teores de cálcio (Ca), o mesmo ocorrendo com a interação negativa entre o P e o Fe. Com relação ao Mn e Zn, apesar dos efeitos de inibição entre Ca e Mn e entre P e Zn descritos por Malavolta (2006), os altos teores nos solos de TPI devem ter minimizado estes efeitos, haja vista que os cultivos de arroz apresentaram altos teores de Mn e Zn. Segundo Sombroek et al. (2002), os teores de Mn superiores a 500 mg kg^{-1} e de Zn superior a 50 mg kg^{-1} (extrator Mehlich 1), também podem ser utilizados como pré-requisitos para o diagnóstico de classificação da TPI.

Tabela 7. Teor de Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni e Cr na fração argila dos solos.

| Horizonte | Fe g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | | | | | |
|---|--------------------------|---------------------|-----|-----|----|-----|-----|
| | | Mn | Cu | Zn | Cd | Ni | Cr |
| Argissolo Amarelo com horizonte A antrópico | | | | | | | |
| A | 79,4 | 627 | 104 | 150 | 21 | 78 | 172 |
| Bt | 90,2 | 71 | 62 | 45 | 22 | 84 | 146 |
| Latossolo Amarelo com horizonte A antrópico | | | | | | | |
| A | 57,4 | 387 | 90 | 245 | 20 | 97 | 17 |
| Bw | 68,5 | 84 | 42 | 97 | 19 | 94 | 1 |
| Cambissolo com horizonte A antrópico | | | | | | | |
| A | 59,3 | 289 | 69 | 248 | 18 | 88 | 3 |
| Bi2 | 54,2 | 97 | 49 | 73 | 21 | 97 | 0 |
| Latossolo Amarelo distrófico petroplântico | | | | | | | |
| A | 67,2 | 87 | 123 | 41 | 21 | 91 | 98 |
| Bw | 71,0 | 102 | 101 | 50 | 20 | 84 | 89 |
| Latossolo Amarelo distrófico típico | | | | | | | |
| A | 53,7 | 84 | 81 | 41 | 21 | 86 | 92 |
| Bw | 76,8 | 81 | 36 | 44 | 21 | 89 | 138 |
| Gleissolo Háplico Ta eutrófico | | | | | | | |
| A | 72,3 | 778 | 148 | 176 | 22 | 108 | 92 |
| C | 57,7 | 379 | 106 | 168 | 18 | 99 | 80 |
| Neossolo Flúvico Ta eutrófico | | | | | | | |
| A | 74,9 | 755 | 121 | 156 | 17 | 103 | 0 |
| C | 64,1 | 502 | 82 | 158 | 16 | 91 | 54 |

Fonte: Lima (2001)

Tabela 8. Teor foliar de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn em arroz cultivado em amostras de Latossolo, Argissolo, Neossolo e Terra Preta do Índio coletadas na Amazônia Central.

| Solos | mg kg ⁻¹ | | | | | |
|-----------------------|---------------------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn |
| Latossolo | 119,61 | 10 | 178,0 | 115 | 0,35 | 86 |
| Argissolo | 100,87 | 11 | 119,7 | 135 | 0,15 | 95 |
| Neossolo | 47,51 | 13 | 114,3 | 1475 | 0,15 | 117 |
| Terra Preta | 59,16 | 8 | 62,1 | 849 | 0,52 | 91 |
| Adequado ¹ | 40 - 70 | 10 - 20 | 200 - 300 | 100 - 150 | 0,4 - 1,0 | 25 - 35 |

¹Reuter et al. (1997).

Fonte: Rodrigues (1998)

Rodrigues (1998) verificou que em solos não adubados, após a condução de três cultivos sucessivos, a produção de matéria seca total (raiz + parte aérea) de arroz na TPI foi, na média, 65% superior que o cultivo realizado na média dos Latossolos e Argissolos, porém 36% inferior ao Neossolo Flúvico (Tabela 7). O desbalanço nutricional advindo dos altos teores de P, Ca, Mn e Zn, possivelmente, é a principal causa da menor produção na TPI, quando comparado com os solos de várzea que apresentam maior potencial de produção.

Tabela 9. Produção de matéria seca de arroz cultivado em amostras de Latossolo, Argissolo, Neossolo e Terra Preta do Índio coletada na Amazônia Central.

| Solos | Produção de matéria seca | | | |
|-------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------|
| | 1 ^o Cultivo | 2 ^o Cultivo | 3 ^o Cultivo | Média |
| | g vaso ⁻¹ | | | |
| Latossolo | 1,13 | 0,97 | 0,70 | 0,93 |
| Argissolo | 1,14 | 1,00 | 0,93 | 1,02 |
| Neossolo | 4,27 | 1,72 | 1,61 | 2,53 |
| Terra Preta | 2,14 | 1,72 | 1,01 | 1,62 |

Fonte: Rodrigues (1998)

Considerações Finais

As informações compiladas neste capítulo mostram que mesmo em condições de alta temperatura e umidade, como as da Região Amazônica que favorecem a rápida mineralização da matéria orgânica, a TPI, diferentemente da maioria dos solos da região, apresenta altos teores de P, Ca, e Mn disponível e, em alguns sítios, baixos teores de N total, K e B disponível. Nesse sentido, são necessários estudos mais aprofundados sobre o efeito e qualidade da matéria orgânica sobre a disponibilidade dos macro e micronutrientes nos solos de Terra Preta localizados em diferentes condições edáficas; acompanhamento da dinâmica e interação dos nutrientes, contrastando-os com os demais solos representativos da Região Amazônica (Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Espodossolos).

A utilização de altas doses de fertilizantes químicos e orgânicos e corretivos agrícolas tem levado a um desbalanço nutricional afetando diretamente o crescimento e a produção de algumas culturas. Nesse contexto, trabalhar junto com agricultores, no sentido de orientá-los na melhor forma de uso, manejo e conservação dessas áreas de Terra Preta e Terra Mulata cultivadas pode contribuir substancialmente para o desenvolvimento de práticas conservacionistas, evitando a degradação e assegurando uma maior produtividade. Neste capítulo serão abordados alguns resultados relevantes do manejo da fertilidade, e nutrição das principais espécies cultivadas nas terras pretas e nos solos adjacentes (Terra Mulata, Latossolos e Argissolos), alcançados nos últimos quatro anos de pesquisas desenvolvidas no Estado do Amazonas.

Métodos de Caracterização Química de Amostras de Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio

Adônis Moreira
Wenceslau Geraldes Teixeira
Gilvan Coimbra Martins
Newton Paulo de Souza Falcão

Os horizontes antrópicos típicos das Terras Pretas de Índio (Sombroek et al. 1966, Lehmann et al. 2003; Kampf & Kern, 2005) são caracterizados por elevados níveis de nutrientes, principalmente cálcio e fósforo, altos teores de matéria orgânica e atividade biológica mais elevada que os solos adjacentes (Steiner et al., 2004), na sua maioria cauliniticos e fortemente intemperizados (Teixeira & Martins, 2003; Moreira & Fageria, 2008 ; Teixeira et al. neste volume). Entretanto ainda são escassos trabalhos para uma correta caracterização desses solos (Kern & Kämpf, 1989 ; Lehmann et al., 2003; Teixeira et al., neste volume), havendo a necessidade de pesquisas mais aprofundadas sobre esse assunto.

Buscando indicar metodologias compatíveis para essas condições, este capítulo apresenta, os resultados já obtidos em sítios de TPI localizados nos estados do Amazonas e Pará, sendo esses: Costa do Açutuba, nas margens do Rio Negro, Município de Iranduba (AM); Hatahara, nas margens do Rio Solimões, Município de Iranduba (AM); Caldeirão, nas margens do rio Solimões, Município de Iranduba (AM); Jiquitaia, nas margens do Rio Preto da Eva, Município de Rio Preto da Eva (AM); Costa do Laranjal, nas margens do Rio Solimões, Município de Manacapuru (AM); Itapeçu, nas margens do Rio Amazonas, Município de Urucurituba (AM); Cajutuba, nas margens do Rio Tapajós, Município de Santarém (PA); Caburi, nas margens do Rio Amazonas, Município de Parintins (AM); Rio Urubu, na margem do Rio Urubu, Município de Rio Preto da Eva (AM) e Terra Preta do Limão, nas margens do Rio Amazonas, Município de Barreirinha (AM).

O levantamento e caracterização das área, a análise de solo são os principais instrumentos para transferência de informações sobre o diagnóstico da fertilidade de um determinado local. A interpretação dos resultados depende, em grande parte, da qualidade da amostragem e do grau de eficiência na determinação do elemento proporcionado pelo método utilizado. Em qualquer tipo de solo, a definição de extratores padrões é bastante complexa pela grande variedade de métodos que apresentam, de certa forma, vantagens e desvantagens no seu manuseio e grau de interpretação.

Na Tabela 1 estão listados alguns métodos atualmente utilizados na determinação da disponibilidade de alguns elementos no solo e os seus respectivos extratores. Observa-se grandes diferenças nas soluções, mesmo naquelas que extraem apenas um elemento, podendo estas serem provenientes de diluições de ácidos fortes (Mehlich 1, Bray 1 e Mehlich 3), ácidos fracos (acetato de sódio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$), quelatizantes (DTPA-TEA), soluções alcalinas tamponadas (Olsen), resinas trocadoras de íons e técnicas de trocas isotópicas (Valor L e E).

Pela peculiaridade na formação dos horizontes antrópicos conhecidos como “Terra Preta de Índio”, este capítulo tem o objetivo de mostrar a potencialidade e a capacidade de diferentes métodos e extratores para caracterização da fertilidade do solo, obtidos em amostras de TPIs.

Tabela 1. Alguns métodos usados para análise de solo.

| Método | Referência | Elemento(s) |
|---|---|---|
| Acetato de cálcio 0,5 mol L ⁻¹ | Peech (1965) | H+Al trocável |
| Água quente | Berger & Truog (1939) | B disponível |
| Bray 1 | Bray & Kurtz (1945) | P disponível |
| Água e CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹ | Vettori (1969) | PH |
| Mehlich 1 | Mehlich (1978) | P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn disponível |
| Mehlich 3 | Mehlich (1984) | P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn disponível |
| DTPA-TEA | Lindsay & Norvell (1978) | Cu, Fe, Mn e Zn disponível |
| Valor E e L | Mclauffe et al. (1948); Larsen (1957) | P disponível |
| Olsen | Olsen et al. (1954) | P disponível |
| KCl 1,0 mol L ⁻¹ | Chapman (1965); Moreira & Castro (2004) | Ca, Mg e Al trocável e B disponível |
| Resina trocadora de íons | Cooke & Hislop (1963); Raij et al. (1986) | P, K, Ca e Mg disponível |
| Tampão SMP | Shoemaker et al. (1961) | PH e H+Al trocável |

Acidez do Solo

A acidez do solo limita a produção, estando ligada à disponibilidade de macronutrientes (N, P, K, Ca, Me S) e micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) e ao aparecimento de elementos em níveis tóxicos, em especial o Al (Havlin et al., 1999). Nas análises de rotina, o índice de acidez é medido pelo valor de seu pH, sendo utilizado duas metodologias: (1) solução de água desionizada e destilada na proporção 1:2,5 água:solução (v:v) e (2) solução de CaCl₂ 0,01mol L⁻¹ na proporção de 1:2,5 solo:solução, v:v (Raij et al., 1997; Embrapa, 1997).

O pH determinado em água, embora seja uma das medidas mais comuns, pode fornecer valores variáveis em diferentes épocas do ano ou, ainda, sujeito ao manuseio das amostras, devido à existência de quantidades variáveis de sais no solo. Para contornar esse problema, por promover a floculação dos colóides do solo, minimizando os erros, a opção utilizada é a determinação em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (Raij, 1991).

Nos trópicos, os solos são, em grande parte, naturalmente ácidos, devido à pobreza de materiais de origem desprovidos de bases trocáveis ou por condições de pedogênese ou de formação de solo que favoreçam a remoção de elementos químicos ou fatores climáticos diversos, tais como chuva e vento que ocasionam a volatilização e lixiviação de bases do solo (Novais & Smith, 1999).

Nos horizontes antrópicos, outro fator que afeta o pH é tipo de rio localizado nas proximidades dos sítios, que podem ser os de água barrenta (Rio Amazonas, Rio Solimões, Rio Madeira, entre outros), caracterizados pela riqueza de sedimentos provenientes da Cordilheira dos Andes, e os de águas negras ou claras (rios Negro, Tapajós, Urubu, entre outros) que, ao contrário, apresentam acidez elevada e pobreza de sedimentos (Horbe et al., 2005).

Resultados obtidos em onze sítios de terra preta, mostram que, independentemente da metodologia utilizada, a localização dos sítios influencia o pH do solo (Fig. 1). Pelas características dos solos eutróficos adjacentes (várzea alta e baixa) e dos ambientes mais ricos em nutrientes nas margens dos rios de água barrenta, os sítios próximos apresentaram os maiores valores, ao contrário dos locais localizados nas margens dos rios de águas escuras ou claras, que, dependendo da estação chuvosa ou seca, têm o valor de pH variando entre 3,8 a 5,4 (Horbe et al., 2005).

Independentemente da localização, o pH em H₂O e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na camada de 0 a 20cm variou entre 4,2 a 6,73 e 3,72 a 4,84 respectivamente; valores esses, em muitos casos, estão acima dos

encontrados nos solos da Região Amazônica (Argissolos, Latossolos, Neossolos Flúvicos, Espodossolos e Cambissolos), que estão entre 3,79 a 4,72 em H_2O e de 3,52 a 4,40 em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} (Moreira, 2007).

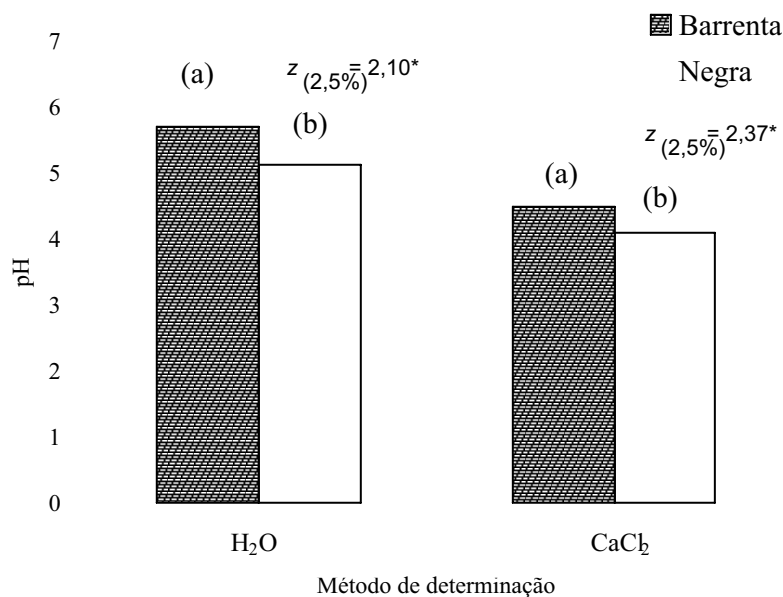


Fig. 1. Médias do pH do solo determinados em água e CaCl_2 0,01 mol L^{-1} em sítios situados nas proximidades dos rios de águas barrenta e negra na Amazônia. Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney. (Moreira, 2007).

Carbono Orgânico

Em solos tropicais, a matéria orgânica tem grande importância no fornecimento de nutrientes, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura, na infiltração e retenção de água, na aeração e na atividade da biomassa microbiana, constituindo-se num componente fundamental da capacidade produtiva (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Nessas condições, os ciclos do carbono e dos nutrientes operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e pela decomposição acelerada e contínua da matéria orgânica do solo realizada pelos microorganismos decompositores (Malavolta, 1987; Moreira & Fageria, 2008). A qualidade e a quantidade de matéria orgânica é diretamente proporcional à atividade da biomassa microbiana, que é a principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo sua influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes (Jenkinson & Ladd, 1981).

Na determinação da matéria orgânica do solo, Moreira (2007) verificou na TPI, que os teores de carbono determinados pelo método Walkley-Black (solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,4 mol L^{-1} + H_2SO_4 concentrado, Embrapa, 1997) e pelo analisador C-CHN (combustão por via seca a 960°C em cápsula de Sn) apresentaram correlações significativas entre si, e apesar da significância, o Walkley-Black tiveram menor sensibilidade na determinação em solos com teores de carbono orgânico superior a 64,0 g kg^{-1} , o que não foi verificado com o analisador C-CHN (Fig. 2).

Isso ocorre porque esses solos têm grande quantidade de carbono na forma de carbono pirogênico (carvão), de difícil digestão com ácido sulfúrico concentrado (Steiner et al., 2004). Dependendo do tipo de solo, a eficiência na determinação do carbono por Walkley-Black pode variar de 56 % a 100 %, o que não ocorre com o método de oxidação por combustão, que converte todo C em presença do oxigênio para CO_2 durante o processo de aquecimento (Skjemstad & Taylor, 1999).

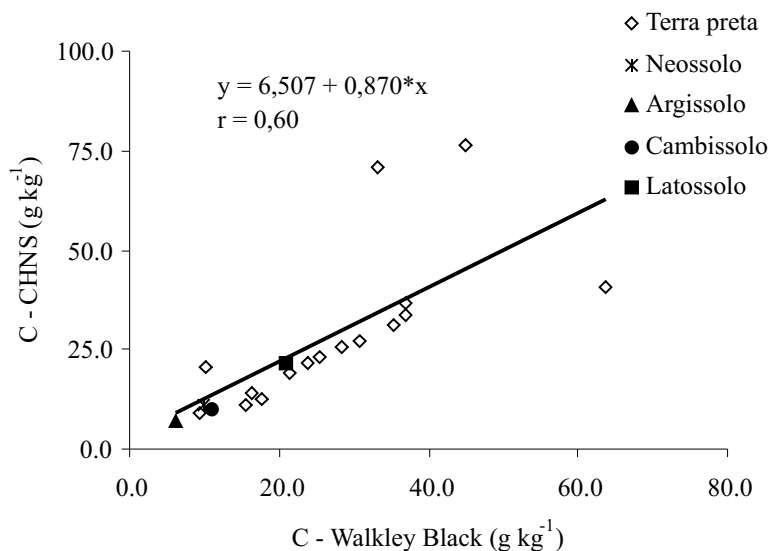


Fig. 2. Relação entre C-CHNS e C-Walkley Black em horizontes de TPI e de cinco amostras de solo representativas da região: Latossolo, Argissolo e Neossolo Flúvico e Espodossolo.

Porém, tais inferências sobre os métodos necessitam de mais estudos. Pereira et al. (2006), também encontraram correções significativas entre os métodos C-CHN (x) e Walkley-Black (y), com 53 amostras de solo com altos teores de matéria orgânica ($\hat{y} = 27,796 + 0,796x$, $r = 0,92$), neste caso, o teor obtido nas amostras foi apenas 13% maior no C-CHN que no Walkley-Black.

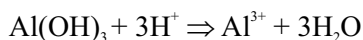
Os teores de C, obtidos na TPI pelo Walkley-Black e pelo analisador C-CHN são, dentro dos mesmos métodos, 96,19 % e 115,68 %, respectivamente, maiores que nos solos representativos da região (Argissolos, Latossolos e Neossolos Flúvicos) (Moreira, 2007). Os horizontes antrópicos são caracterizados por materiais originados da matéria orgânica do solo (MOS) na forma estável com alto peso molecular e estruturas de anéis aromáticos unidos, situação diferente da encontrada, em especial, nos Latossolos, com os polissacarídeos totalmente degradados, sendo essa característica da MOS na terra preta, provavelmente, devida à atividade microbiana do solo (Zech et al., 1990).

Apesar dessa estabilidade, a relação C/N nos horizontes antrópicos de TPI é apenas 20% maior do que a camada superficial do Latossolo, Cambissolo e Argissolo e 158% menor que no Neossolo Flúvico (Moreira, 2007). Devido à complexidade do assunto, para maior entendimento da dinâmica da matéria orgânica (carbono pirogênico) e da fertilidade dos solos antrópicos, ver os capítulos escritos por Cunha et al. (neste volume), Falcão et al. (neste volume) e Madari et al. (neste volume).

Acidez potencial

As características edáficas distintas dos solos antrópicos quando comparadas com a maioria dos outros solos da Amazônia e as tecnologias geradas em determinadas regiões nem sempre poderão ser utilizadas sem sofrer algumas modificações. Nesta situação encontra-se a acidez potencial, que é constituída do somatório da parte não dissociada do H^+ com o Al^{3+} do solo, extraídos com soluções de sais tamponados ou misturas de sais neutros com solução-tampão (Peech, 1965).

Em solos muito ácidos com H^+ e, principalmente, Al^{3+} presentes no complexo de troca ocorre a dissolução deste último (Havlin et al., 1999), ocasionando a seguinte reação:



No Brasil, o método mais utilizado na determinação da acidez potencial é o acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0, considerado como padrão (Raij et al., 1987). Entretanto, nas amostras de TPI, este método poderia apresentar limitações no seu uso, pelo fato de subestimar os teores de H+Al em solos com pH acima de 6,0, ocasionados pela baixa eficiência do tamponamento dessa solução em pH, em torno de 7,0 (Raij, 1991).

Para definir a acidez potencial, nessas condições, há necessidade da obtenção de um modelo matemático (linear, quadrático, exponencial, logarítmico entre outros), diferente do proposto por Moreira et al. (2004) para os solos do Estado do Amazonas. No caso da TPI, após a calibração, o modelo que apresentou melhor ajuste foi o linear, independentemente da solução de pH utilizada no extrato (Fig. 3).

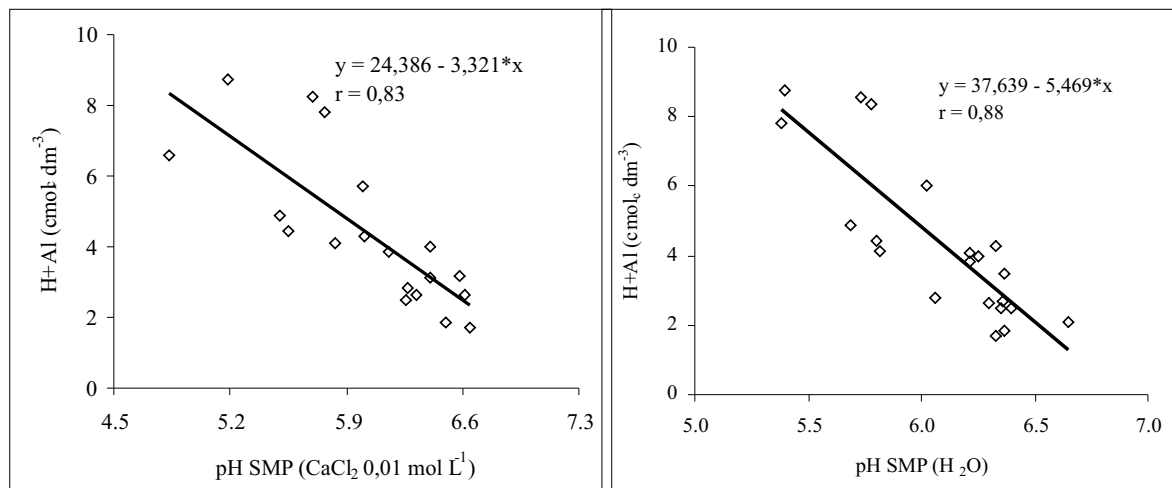


Fig.3. Relação entre teores de H+Al extraídos por $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,05 mol L⁻¹ e pH SMP obtidos em água e CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, ambos analisados na relação de 1:2,5. Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (Moreira, dados não publicados).

Com base nas equações foram definidos os valores da acidez potencial a partir 2,8 e 6,8 no pH em água e de 2,8 a 7,1 em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ nas condições edáficas dos horizontes antrópicos de TPI (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativa da acidez potencial em H_2O e CaCl_2 a partir do pH SMP para horizontes antrópicos de TPI da Amazônia.

| pH SMP | H+Al (H ₂ O) | H+Al (CaCl ₂) | pH SMP | H+Al (H ₂ O) | H+Al (CaCl ₂) |
|--------|----------------------------|------------------------------|--------|----------------------------|------------------------------|
| 2,8 | 22,33 | 15,09 | 5,2 | 9,20 | 7,12 |
| 3,0 | 21,23 | 14,42 | 5,4 | 8,11 | 6,45 |
| 3,2 | 20,14 | 13,76 | 5,6 | 7,01 | 5,79 |
| 3,4 | 19,04 | 13,09 | 5,8 | 5,92 | 5,12 |
| 3,6 | 17,95 | 12,43 | 6,0 | 4,83 | 4,46 |
| 3,8 | 16,86 | 11,77 | 6,2 | 3,73 | 3,80 |
| 4,0 | 15,76 | 11,10 | 6,4 | 2,64 | 3,13 |
| 4,2 | 14,67 | 10,44 | 6,6 | 1,54 | 2,47 |
| 4,4 | 13,58 | 9,77 | 6,8 | 0,45 | 1,80 |
| 4,6 | 12,48 | 9,11 | 7,0 | - | 1,14 |
| 4,8 | 11,38 | 8,44 | 7,1 | - | 0,47 |
| 5,0 | 10,29 | 7,78 | 7,2 | - | - |

Fósforo

Na Tabela 3 estão listadas os teores de P disponível nos extratores: Bray 1 - NH_4F $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (Bray & Kurtz, 1945), Mehlich 1 ou duplo ácido - H_2SO_4 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (Mehlich, 1978) e Mehlich 3 - CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$; NH_4NO_3 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$; NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$; HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ e EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ (Mehlich, 1984), extratores baseados em soluções diluídas de ácidos fortes com adição ou não de íons complexantes, e a resina de troca catiônica e aniônica (Raij et al., 1986), compostas por esferas de diâmetro em torno de 1,0 mm ou menos formadas por grupos funcionais ($-\text{NR}_3^+\text{OH}^-$), saturadas com ânion bicarbonato.

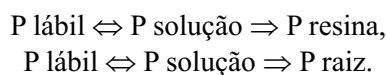
Tabela 3. Comparação dos teores de P disponível e orgânico do solo proveniente de onze sítios de Terra Preta em diferentes soluções extratoras.

| Extrator | Referências | P disponível | | | Desvio padrão |
|------------|-----------------------|------------------------|---------|--------|---------------|
| | | Mínimo | Máximo | Média | |
| | | (mg kg ⁻¹) | | | |
| Bray 1 | Bray & Kurtz (1945) | 5,56 | 1153,34 | 422,59 | 319,19 |
| Mehlich 1 | Mehlich (1978) | 8,57 | 1371,64 | 599,53 | 447,08 |
| Mehlich 3 | Mehlich (1984) | 5,99 | 753,36 | 369,80 | 235,49 |
| Resina | Raij et al. (1986) | 14,00 | 289,00 | 144,88 | 87,84 |
| P-orgânico | Olsen & Sommer (1982) | 30,38 | 987,63 | 404,32 | 303,14 |

Os três primeiros métodos citados acima, a proporção extrator-solo foi de 10:1 (v:v), agitação por 5 minutos, filtragem ou decantação e determinação analítica, enquanto a resina de troca catiônica e aniônica é bem mais trabalhosa na análise, consistindo nas seguintes etapas: a) desagregação do solo, em suspensão com água na proporção 1:10; agitação do solo com resina em suspensão aquosa durante 16 horas; c) separação da resina do solo com o uso de peneiras; d) filtragem e leitura do sobrenadante.

À semelhança do que ocorre com os fosfatos naturais não reativos, os altos teores de P disponível obtidos com os extratores Bray 1, Mehlich 1 e Mehlich 3, possivelmente estejam superestimados, haja vista, que as soluções ácidas dissolvem predominantemente o P ligado ao Ca (o que é o caso do P oriundo de ossos ou espinhas de peixes, fonte das elevadas concentrações de P nas TPI Lima et al. 2005) e quantidades menores de P ligado a Fe e Al (Olsen & Khasawneh, 1980). Isso indica que esses extratores podem ser os menos indicados para determinação da disponibilidade de P em solos de TPI.

No caso da resina de troca catiônica e aniônica, a extração dá-se durante a agitação da suspensão solo-água-resina. Esse processo tem semelhança com a absorção de P pelas plantas (Raij, 1991), caracterizada pela transferência do P lábil para a solução do solo e daí para as raízes:



Um outro aspecto relacionado ao P disponível foi enfatizado por Raij & Quaggio (1990), no qual, solos contendo grande quantidade de sítios de adsorção de P nos óxidos de Fe e Al, a aplicação de calcário acarreta em aumento na disponibilidade de P para as plantas, porém, a utilização dos extratores Bray 1 e Mehlich 1 não indicam o efeito da calagem, o que não ocorreu com o método da resina trocadora de íons, que refletiu com coerência o aumento da fitodisponibilidade de P no solo para as plantas.

Moreira (2007) verificou que, exceto o sítio de TPI Serra Baixa, com $8,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de P disponível, as outras amostras apresentaram altos teores de P disponível, corroborando as afirmativas de elevados teores de P nos sítios de TPI (Sombroek, 1966, Kern & Kämpf, 1989, Lehmann et al. 2003, Kampf & Kern, 2005). Os teores de P variaram de $8,6 \text{ mg dm}^{-3}$ no Sítio Serra Baixa (Manacapuru, AM) a $1.371,6$

mg dm⁻³ no Sítio Hatahara (Manacapuru, AM). Esses valores estão definidos como bons por Alvarez Venegas et al. (1999) na classe de interpretação (P = 8,1 a 12 mg dm⁻³ e Ca = 0,36 a 0,6 cmol_c dm⁻³), utilizando os extratores Mehlich 1. Nesses sítios, 27,3% das amostras de TPI não apresentaram os teores de P disponível $\geq 180 \text{ mg kg}^{-1}$ (extrator Mehlich 1), proposto por Kern & Kämpf (1989) como um dos requisitos para classificação dos solos antrópicos. E provavelmente, também ficaram abaixo de 250 mg kg⁻¹ de P (pelo método do ácido cítrico) para caracterizar um horizonte A, como antrópico (Embrapa, 1999) e também no sistema americano de classificação (USDA, 1975).

Para interpretação, os teores obtidos com Mehlich 1 correspondem a $\geq 67 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, para o extrator resina trocadora de íons através do modelo: $\hat{y} = 34,027 + 0,1849 \cdot x$, $r = 0,94$, $\geq 162 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, para o extrator Mehlich 3 ($\hat{y} = 72,268 + 0,4963 \cdot x$, $r = 0,94$) e $\geq 167 \text{ mg kg}^{-1}$ de P para o extrator Bray 1 ($\hat{y} = 65,202 + 0,5661 \cdot x$, $r = 0,83$) (Moreira, 2007).

O fósforo orgânico, determinado pela diferença entre P determinado em ácido sulfúrico 5,0 N, em amostras de solo incineradas a 550°C e a não incinerada, é constituído pelos fosfatos remanescentes nos resíduos orgânicos parcialmente alterados e pela mistura do protoplasma microbiano e dos produtos de sua decomposição (Dallal, 1977). Estudos indicam que nas TPIs, grande parte do P disponível é proveniente da ação antrópica, haja vista que na média dos solos da região o P orgânico é inferior a 3,5 mg kg⁻¹, sendo que na média das amostras analisadas de horizontes antrópicos de TPI nesse estudo o valor foi acima de 400 mg kg⁻¹ (Tabela 3).

Cálcio

Os sítios de TPI apresentam altos teores de Ca trocável, variando de 0,9 cmol_c dm⁻³ no Sítio Cajutuba (Santarém, PA) a 23,8 cmol_c dm⁻³ no Sítio Caldeirão (Iranduba, AM) (Moreira, 2007). Esses valores são superiores aos encontrados em outros solos representativos da Amazônia. Na classificação proposta por Alvarez Venegas et al. (1999), as TPIs seriam classificadas, em sua maioria, na classe de interpretação Bom (Ca = 0,36 a 0,6 cmol_c dm⁻³, extrator KCl 1,0 mol L⁻¹).

As diferenças nos teores de Ca trocável entre os sítios amostrados podem ser atribuídas ao uso agrícola intensivo atual, às perdas por erosão superficial (os produtores não fazem nenhuma prática de manejo de conservação do solo), à localização (Lima et al., 2002) e ao tamanho e período de ocupação das populações indígenas nas localidades (Sjoberg, 1976).

Os solos tropicais são caracterizados por baixa saturação por bases, o que corresponde ao baixo conteúdo de elementos trocáveis, entre eles o cálcio, o que contrasta com os solos de TPI (Schroth et al., 2002; Moreira & Malavolta, 2005; Moreira & Fageria, 2008). Independentemente da solução extratora (resina, Mehlich 3 ou KCl 1,0 mol L⁻¹), o cálcio trocável originário, possivelmente, de restos vegetais e animais (Fig. 4a) pode corresponder em até 67,8 % do Ca total no solo (A. Moreira, dados não publicados).

Na média, os sítios de TPI apresentam 3140 mg kg⁻¹ de Ca total, o que mostra o insignificante aporte de cálcio advindo do solo de origem, no caso do Latossolo (30,2 mg kg⁻¹), Neossolo Flúvico (50,0 mg kg⁻¹), Argissolo (44,0 mg kg⁻¹) e Cambissolo (70,0 mg kg⁻¹) (Fig. 4b). Nesses solos, o Ca trocável corresponde a apenas 38 %, 18 %, 10 % e 24 %, respectivamente, do total. Nos solos do Estado do Amazonas, 88,4% das amostras apresentam teores abaixo de 1,17 cmol_c dm⁻³ (Moreira et al., 2005), valor esse, considerado baixo na classe de interpretação com extrator KCl 1,0 mol L⁻¹ (Alvarez Venegas et al., 1999).

Apesar de trabalhos mostrando semelhança dos dados para determinação do Ca trocável na TPI, em termos comparativos, o extrator ácido (Mehlich 3) apresenta maior capacidade de extração (Fig. 4a), com a seguinte tendência: Mehlich 3 > KCl 1,0 mol L⁻¹ > resina.

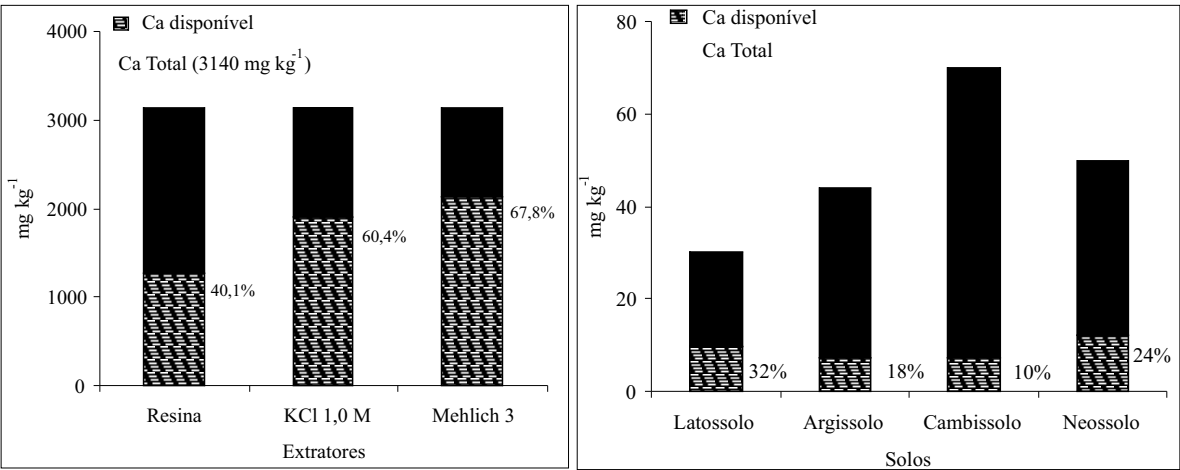


Fig. 4. Quantidade de cálcio disponível e total em horizontes antrópicos de TPI (a) e Latossolo, Argissolo e Neossolo Flúvico (b) da Amazônia (Moreira, dados não publicados).

Potássio, Magnésio e Sódio

Exceto a obtenção do magnésio trocável com o extrator Mehlich 1, a determinação das quantidades de Mg, K e Na trocável do solo utilizando os métodos aplicados nos laboratórios de rotina do Brasil (resina no Estado de São Paulo e KCl 1,0mol L⁻¹ nos demais estados) apresentam semelhanças (Tabela 4), não havendo a necessidade de substituir o método em uso por outro, independentemente do tipo de solo analisado.

Tabela 4. Comparação de valores de Mg, K e Na trocáveis, por meio de diferentes extratores para os horizontes antrópicos de TPI e o Latossolo Amarelo distrófico.

| Elementos | Extrator | Mínimo | Máximo | Média | Latossolo |
|---------------------------------------|----------------|--------|--------|-------|-----------|
| (cmol _c dm ⁻³) | | | | | |
| Magnésio | Resina | 0,20 | 3,4 | 1,4 | 0,10 |
| | KCl 1,0mol L-1 | 0,06 | 6,3 | 2,3 | 0,10 |
| | Mehlich 3 | 0,03 | 1,3 | 0,5 | 0,05 |
| Potássio | Resina | 0,04 | 0,30 | 0,12 | 0,07 |
| | Mehlich 1 | 0,01 | 0,47 | 0,11 | 0,05 |
| | Mehlich 3 | 0,03 | 0,48 | 0,12 | 0,07 |
| Sódio | Mehlich 1 | 0,01 | 0,65 | 0,16 | 0,03 |
| | Mehlich 3 | 0,03 | 0,30 | 0,11 | 0,05 |

A. Moreira (dados não publicados), média de 28 amostras de TPI.

Os teores de Mg trocável na TPI estão acima de 2,0 cmol_c dm⁻³, situando dentro da faixa considerada média e alta por Alvarez Venegas et al. (1999), com o extrator KCl 1,0 mol L⁻¹ e por Raij et al. (1997) com a resina trocadora de íons. A quantidade de magnésio total (A. Moreira, dados não publicados), em amostras de TPI, determinada em HCl concentrado, variam de 20 a 900 mg kg⁻¹, ficando na média em 350 mg kg⁻¹, 337 % superior à média dos Latossolos, Argissolo, Espodossolo, Neossolos Flúvicos e Cambissolo.

O K trocável das TPIs apresenta baixos teores no solo (Tabela 4) (Lehmann et al., 2003). Essa baixa disponibilidade é caracterizada pela predominância de argila 1:1 (caulinita), forma iônica, e nas condições tropicais com índice pluviométrico anual superior a 2.250 mm (Vieira & Santos, 1987), possivelmente, o potássio é facilmente lixiviado para as camadas mais profundas do solo.

O K trocável é um elemento limitante para o cultivo nas TPIs, o seu baixo teor, comparativamente aos altos de Ca e de Mg trocáveis nos solos antrópicos, pode induzir a um desbalanço nutricional, afetando sua absorção e, com isso, ocasionar um desequilíbrio dos nutrientes catiônicos essenciais ao crescimento das plantas (Malavolta, 2006). Tal resultado foi evidenciado por Falcão & Borges (2006), que ao comparar uma TPI não adubada e adubada com esterco de galinha curtido e calcário dolomítico com uma terra mulata não adubada e adubada com esterco de galinha curtido e calcário dolomítico, verificaram que a TPI não adubada apresentou a menor produtividade com teores K na folha e no solo abaixo de 25 g kg^{-1} e $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, considerado adequado para a cultura do mamoeiro.

O sódio trocável tem grande variabilidade entre os sítios de TPIs (Tabela 4), essa amplitude, possivelmente, é ocasionada pela localização das áreas, hábito alimentar, tamanho e período de ocupação da população pré-colombiana. Com relação aos extratores, apesar da maior amplitude do extrator Mehlich 1, esse é semelhante ao Mehlich 3 na determinação do Na disponível.

Micronutrientes

Por não existir limites de interpretação para os teores de micronutrientes em TPIs, utilizou-se as faixas estabelecidas por Alvarez Venegas et al. (1999) para o extrator Mehlich 1 e por Raij et al. (1997) para a solução de DTPA-TEA.

Na determinação da disponibilidade de micronutrientes, a utilização do DTPA-TEA, indicou maior frequência de dados na classe alta ($\text{Cu} > 0,8 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Fe} > 12 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Mn} > 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e $\text{Zn} > 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$) nos solos dos horizontes antrópicos quando comparado com o extrator Mehlich 1 (Tabela 5), que apresenta melhor distribuição dos dados nas três classes de interpretação, ou seja, pode-se inferir maior sensibilidade na determinação da disponibilidade de micronutrientes no solo (Moreira et al., 2009).

Tabela 5. Distribuição em porcentagem, dos resultados analíticos das amostras de solos provenientes da Terra Preta do Índio (TPI) e das outras classes de solos representativas da região, baseadas em classes de interpretação dos extratores para micronutrientes utilizados no Brasil (Mehlich 1 e DTPA-TEA).

| | Mehlich 1 ⁽¹⁾ mg dm ⁻³ | % | | DTPA-TEA ⁽²⁾ mg dm ⁻³ | % | |
|----------|---|------|--------|--|-------|--------|
| | | TPI | Outros | | TPI | Outros |
| Cobre | | | | | | |
| Baixo | $\leq 0,71$ | 25,0 | 80,0 | $\leq 0,20$ | - | - |
| Médio | $0,71 - 1,20$ | 31,3 | - | $0,21 - 0,80$ | - | 80,0 |
| Alto | $> 1,20$ | 43,7 | 20,0 | $> 0,80$ | 100,0 | 20,0 |
| Ferro | | | | | | |
| Baixo | $\leq 18,0$ | - | 20,0 | $\leq 4,0$ | - | - |
| Médio | $18,1 - 30,0$ | 31,2 | - | $4,1 - 12,0$ | - | 20,0 |
| Alto | > 30 | 68,8 | 80,0 | > 12 | 100,0 | 80,0 |
| Manganês | | | | | | |
| Baixo | ≤ 5 | 12,5 | 80,0 | $\leq 1,20$ | - | 40,0 |
| Médio | $5,1 - 6,0$ | 6,3 | - | $1,21 - 5,00$ | 12,5 | 20,0 |
| Alto | $> 6,0$ | 81,2 | 20,0 | $> 5,00$ | 87,5 | 40,0 |
| Zinco | | | | | | |
| Baixo | ≤ 1 | - | 80,0 | $\leq 0,50$ | - | 60,0 |
| Médio | $1,1 - 1,5$ | 12,5 | - | $0,51 - 1,20$ | - | 20,0 |
| Alto | $> 1,5$ | 87,5 | 20,0 | $> 1,20$ | 100,0 | 20,0 |

⁽¹⁾ Alvarez Venegas et al. (1999); ⁽²⁾ Raij et al. (1997). Fonte : Moreira et al. (2009).

Estudo sobre a disponibilidade de micronutrientes em amostras de TPI, utilizando o extrator Mehlich 1 (referência para o Cu, Fe, Mn e Zn - extrator padrão utilizado nas análises de rotina na região) e KCl 1,0 mol L⁻¹ para o B, indicam a presença de grandes amplitudes nos teores de B (0,01 mg dm⁻³ a 0,19 mg dm⁻³), Cu (0,35 mg dm⁻³ a 8,53 mg dm⁻³), Fe (14,5 mg dm⁻³ a 213,0 mg dm⁻³), Mn (0,31 mg dm⁻³ a 206,40 mg dm⁻³) e Zn (0,77 mg dm⁻³ a 69,55 mg dm⁻³) entre as amostras de TPI. Essas diferenças dentro da TPI, possivelmente, são conseqüências de sua localização, haja vista que os sítios situados nas proximidades dos rios de água barrenta (maior quantidade de sedimentos), como o Solimões e o Madeira, normalmente, apresentam maiores teores quando comparados com os localizados às margens dos rios de águas escuras ou claras, como os rios Negro e Tapajós (Moreira et al., 2009).

No caso dos solos representativos da região, há grande variabilidade entre os extratores dentro das classes de interpretação (Tabela 5). Essas diferenças novamente realçam os problemas para definir um extrator de micronutrientes adequado para as condições locais e em solos com características edáficas distintas, bem como utilizar classes de interpretação oriundas de outras regiões com solos e condições climáticas diferentes.

As TPIs são caracterizadas por apresentar altos teores de P e Zn disponíveis (Kern & Kämpf, 1989), porém, é comum na literatura, estudos mostrando a inibição do tipo não competitiva entre esses dois nutrientes (Malavolta et al., 1997). Mesmo com esse efeito de inibição, Moreira et al. (2009) observaram que o P disponível determinado pelos extratores Mehlich 1 e resina apresentaram correlação significativa e positiva com o teor de Zn disponível no solo. Com o extrator Mehlich 3, o P disponível correlacionou significativamente com o Zn disponível obtido com as soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3, enquanto que o P extraído por Bray 1 apresenta correlação significativa somente com o Zn na solução DTPA-TEA.

Trabalhos realizados por Rodrigues (1998) e Moreira et al. (2009) verificaram que os teores de B disponível nas TPI são menores que nos solos adjacentes (Tabela 6), porém, inferiores ao teor médio de 0,5mg kg⁻¹ relatado por Malavolta (1987) para os solos da Amazônia. O mesmo autor salienta que, nesse caso específico, que para manter o teor em níveis considerados adequados, a lixiviação do nutriente, possivelmente, é impedida pela fixação aos sesquióxidos e matéria orgânica, sendo o reservatório de B disponível em solos de floresta primária também mantido pela ação combinada da mineralização e reciclagem do nutriente. Porém, com a retirada da floresta e rápida mineralização da matéria orgânica e ausência de adubação de manutenção, a reserva de B disponível no solo chega a níveis de deficiência para as plantas, sintoma comumente encontrado nos plantios da região.

Tabela 6. Teor de B disponível obtido em KCl 1,0 mol L⁻¹, Mehlich 1 e água quente.

| Extrator | Solos | | | |
|---|------------------------|-----------|-----------|------------------|
| | Antrópico | Latossolo | Argissolo | Neossolo Flúvico |
| | (mg kg ⁻¹) | | | |
| KCl 1,0mol L ⁻¹ ⁽¹⁾ | 0,08 | 0,11 | 0,10 | 0,01 |
| Mehlich 1 ⁽²⁾ | 0,12 | 0,18 | 0,14 | 0,28 |
| Água quente ⁽²⁾ | 0,25 | 0,81 | 0,70 | 0,21 |

Fonte: ⁽¹⁾Moreira & Castro (2007); ⁽²⁾Rodrigues (1998).

A Figura 5, elaborada a partir dos dados de Rodrigues (1998), mostra os teores disponíveis de molibdênio obtidos com solução extratora AB-DTPA (NH₄HCO₃+NH₄OH+DTPA ácido, solução solo extrator 1:1) descrita por Soltanpour et al., (1979). Há exceção do Neossolo Flúvico, o teor de Mo na TPI é semelhante ao do Latossolo e Argissolo que representam cerca de 70 % dos solos da região.

Independentemente desse desbalanço ou falta de nutrientes, os solos da Amazônia, nos quais se inclui a TPI, apresentam altos teores de matéria orgânica (Karimian & Cox, 1978; Malavolta, 1987), que em condições inalteradas é constantemente renovada com deposição de folhas, raízes, ramos e galhos, mantendo o poder tampão e os teores de nutrientes suficientes para o desenvolvimento das plantas.

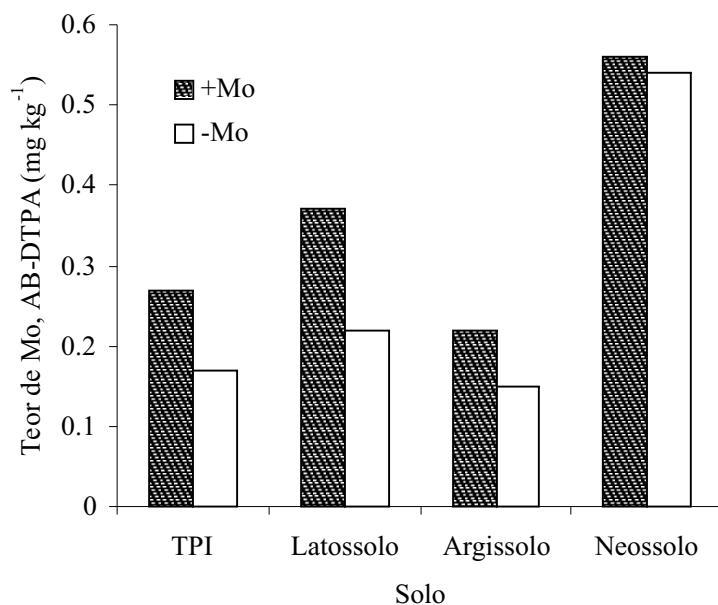


Fig. 5. Teor de Mo disponível em horizonte antrópico de TPI, Latossolo, Argissolo e Neossolo Flúvico. Fonte: Rodrigues (1998).

Considerações Finais

Para a caracterização dos solos horizontes antrópicos das TPIs são necessários os seguintes estudos: a) obter a real disponibilidade de nutrientes para as plantas com ensaios conduzidos em condições controladas (casa de vegetação) e de campo; b) verificar a presença de correlação entre a produção de matéria seca, grãos ou frutos e o teor foliar com o teor no solo determinado por extratores utilizados em cada elemento; c) comparar o potencial de produtividade co solos eutróficos do Brasil.

Características Químicas e Mineralógicas e a Distribuição de Fontes de Fósforo em Terras Pretas de Índio da Amazônia Ocidental

Hedinaldo Narciso Lima
Carlos Ernesto G.R. Schaefer
Nestor Kämpf
Marcondes Lima Costa
Kleber Worsley de Souza

A ocorrência de Terras Pretas de Índio (TPIs) em diferentes unidades geomorfológicas e recobrimo, principalmente, solos cauliníticos, constitui uma feição muito interessante da paisagem amazônica e representa um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas.

Esses solos têm sido objeto de vários estudos, mas algumas de suas características permanecem ainda pouco conhecidas, especialmente aspectos micromorfológicos e composição mineralógica. As informações atuais indicam com bastante segurança que as TPIs são produtos da ação humana, seja ela intencional ou não. Essa ação e a atuação dos processos pedogenéticos promoveram profundas alterações em várias características dos solos, especialmente morfológicas, com desenvolvimento de cor mais escura do horizonte superficial, e químicas, com destaque para os teores mais elevados de C orgânico e de nutrientes, especialmente, P e Ca (KERN & KAMPF, 1989; LIMA et al., 2002).

O P, na forma de fosfato, é especialmente apropriado para detectar solos influenciados por assentamentos humanos (EIDT, 1977). Porém, ao contrário dos fragmentos de artefatos cerâmicos e material lítico, que são facilmente identificáveis “in loco”, não é possível identificar as fontes primárias de P e Ca, atribuídos à incorporação de ossos de animais (e, possivelmente, de seres humanos), espinhas de peixes e carapaças de quelônios (SMITH, 1980), sem o auxílio de técnicas de análises químicas e microscópicas.

Por meio de análises químicas, como fracionamento das formas de P, é possível inferir-se com razoável segurança sobre a fonte primária de P, desde que o estágio de intemperismo da eventual fonte não seja avançado. A comprovação de algumas indicações químicas pode ser obtida com boa margem de segurança mediante o emprego de determinadas técnicas de análises, como a microscopia eletrônica acoplada à microsonda de dispersão de energia de raios-x (EDS), que permite analisar quimicamente os componentes minerais em seções finas.

Embora as TPIs ocorram com maior frequência nas áreas de terra firme (áreas não sujeitas a inundação), parece evidente que a ocupação histórica do espaço amazônico está intrinsecamente associada à penetração através da várzea, devido à maior riqueza desse ambiente em animais de fácil captura (peixes, quelônios, peixe-boi, e outros) e da facilidade de transporte. Além disso, os solos quimicamente mais ricos da várzea poderiam sustentar produções maiores e requerer menor esforço para preparo da área.

Assim, segundo DENEVAN (1996) e LIMA et al. (2002), a estratégia de sobrevivência das populações pré-colombianas teria envolvido a utilização sazonal da várzea, como área de cultivo e captura de peixes e outros animais, em combinação com sítios permanentes de moradia e cultivo, situados em áreas vizinhas de terra firme, nas barrancas dos rios ou nos interflúvios, mas sempre próximas aos cursos d'água.

Este capítulo aborda principalmente aspectos mineralógicos e micromorfológicos de TPIs e de solos adjacentes, identificando alguns atributos comuns e diferenciais, buscando compreender sua formação e relação com os solos do mesmo ambiente de terra firme e da várzea vizinha.

Material e Métodos

Área de estudo e seleção dos solos

Para realização deste estudo selecionou-se uma área na margem esquerda do Rio Solimões próxima à confluência com o Rio Negro, Município de Iraduba (AM), onde se tem observado grande ocorrência de sítios arqueológicos com a presença de TPIs. Na área, foram selecionados sete pedons, cinco dos quais em terra firme, incluindo-se três TPIs, e dois outros na planície aluvial do Rio Solimões (Fig. 1).

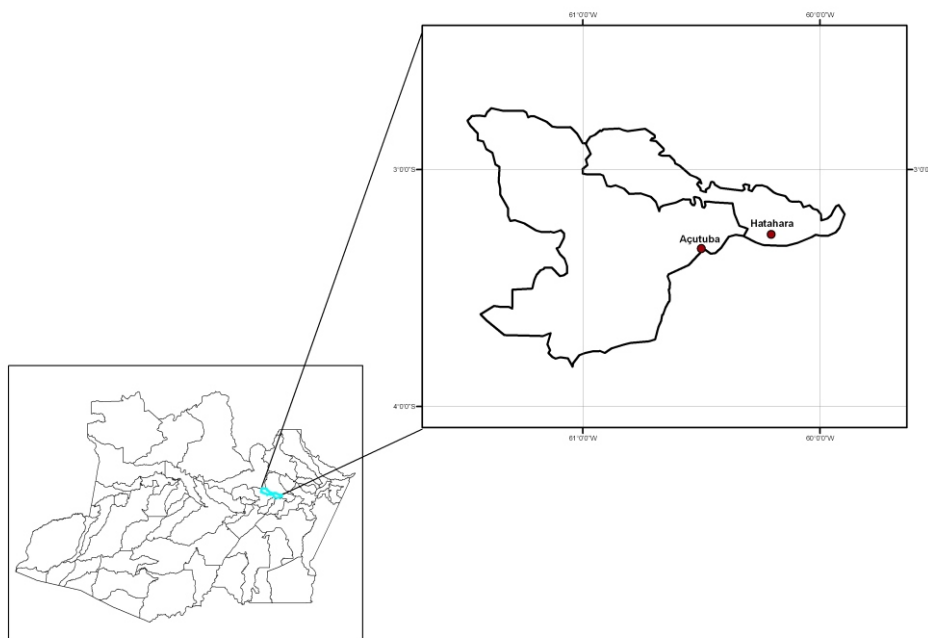


Fig. 1 .Mapa de localização das áreas de coletas das amostras no Estado do Amazonas, Brasil.

Os solos selecionados foram assim classificados: Argissolo Amarelo eutrófico antrópico; Latossolo Amarelo eutrófico antrópico; Cambissolo eutrófico antrópico; Latossolo Amarelo distrófico típico; Latossolo Amarelo distrófico petroplântico; Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico; e Neossolo Flúvico Ta eutrófico típico.

Determinações de Fe, Al e Mn extraíveis e análises mineralógicas

Amostras de todos os solos, coletadas em diferentes profundidades, foram submetidas à análises químicas para determinação de pH, teores de nutrientes, Al^{3+} , H + Al de acordo com procedimento descrito por EMBRAPA (1997) e fracionamento de P, segundo KELLY et al. (1983). Foram ainda determinados os teores totais de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn da fração argila, solubilizada por uma mistura de $HF + HNO_3 + HCl$ (USDA, 1996) e os teores de Fe, Al e Mn extraíveis por ditionito-citrato de Na (COFFIN, 1963) e por oxalato ácido de amônio (SCHWERTMANN, 1964). A quantificação foi realizada por espectrometria de absorção atômica. A identificação dos argilominerais e dos óxidos de Fe da fração argila tratada com ditionito-citrato de Na (COFFIN, 1963) e com solução $NaOH$ 5 mol L^{-1} (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1982) foi realizada por difratometria de raios-x (USDA, 1996).

Micromorfologia e microanálises em seções finas

Análises micromorfológicas e microquímicas foram realizadas em amostras não deformadas do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico e do Latossolo Amarelo distrófico típico visando identificar as fontes primárias de P. Fragmentos de cerâmica e feições pedológicas como unidades estruturais, porosidade, nódulos, concreções e feições de acumulação de argila foram descritos de acordo com BULLOCK et al. (1985) e FITZPATRICK (1993).

As seções finas, previamente estudadas em microscópio petrográfico, foram analisadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura, com detector de retroespalhamento eletrônico acoplado a espectrômetro de dispersão de energia de raios-x, visando obter mapas microquímicos das áreas selecionadas, para os elementos químicos Si, Al, Fe, Ti, Mn, Ca, Mg, P, K, Cu e Zn. Mais detalhes dos procedimentos analíticos aqui citados podem ser obtidos em LIMA (2001).

Resultados e Discussão

Entre as aspectos mais distintivos das TPIs, em comparação aos solos adjacentes, destacam-se algumas de suas características químicas, como menor acidez, menor teor de Al^{3+} e teores mais elevados de nutrientes, como Ca, Mg, K (Tabela 1). É, porém, o teor muito elevado de P nas TPIs, a característica química mais marcante na diferenciação entre essas e os solos adjacentes, que tem sido observado por muitos autores (SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980; KERN e KÄMPF, 1989) e atribuído à incorporação de ossos de animais (e, possivelmente, de seres humanos), de espinhas de peixes e de carapaças de quelônios (SMITH, 1980; LIMA et al., 2002).

Tabela 1. Características químicas dos solos estudados.

| Horizonte | Prof. (cm) | pH em água | P ⁽¹⁾ mg kg ⁻¹ | K ⁺ mg kg ⁻¹ | Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹ | Mg ²⁺ cmol _c kg ⁻¹ | Al ³⁺ cmol _c kg ⁻¹ | H+Al |
|---------------------------------------|------------|------------|---|---------------------------------------|--|--|--|------|
| Argissolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | | |
| A1 | 0 – 23 | 5,20 | 173 | 12 | 3,85 | 0,63 | 0,19 | 6,32 |
| A2 | 23 – 42 | 5,23 | 136 | 6 | 2,38 | 0,28 | 0,45 | 6,16 |
| Bt1 | 42 – 73 | 5,18 | 257 | 5 | 1,39 | 0,18 | 0,19 | 4,47 |
| Bt2 | 73 – 130 | 5,13 | 145 | 4 | 1,31 | 0,12 | 0,13 | 3,36 |
| Latossolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | | |
| A1 | 0 – 30 | 6,16 | 1991 | 55 | 14,13 | 1,32 | 0,00 | 6,37 |
| A2 | 30 – 60 | 6,21 | 2935 | 49 | 13,98 | 0,53 | 0,00 | 6,21 |
| A3 | 60 – 100 | 6,40 | 3921 | 53 | 9,34 | 0,44 | 0,00 | 4,31 |
| AB | 100 – 130 | 6,49 | 3537 | 44 | 6,69 | 0,36 | 0,00 | 3,83 |
| Bw | 130 – 150 | 6,49 | 1567 | 27 | 4,37 | 0,30 | 0,00 | 3,36 |
| Cambissolo eutrófico antrópico | | | | | | | | |
| A1 | 0 – 15 | 6,28 | 1332 | 70 | 6,59 | 1,04 | 0,00 | 7,00 |
| A2 | 15 – 40 | 6,39 | 2032 | 44 | 5,60 | 0,44 | 0,00 | 5,78 |
| A3 | 40 – 55 | 6,33 | 816 | 36 | 2,35 | 0,86 | 0,00 | 3,52 |
| Bi1 | 55 – 110 | 6,45 | 115 | 24 | 0,66 | 0,06 | 0,00 | 1,82 |
| Bi2 | 110 – 180 | 6,04 | 92 | 18 | 0,55 | 0,08 | 0,00 | 1,50 |
| Latossolo Amarelo distrófico típico | | | | | | | | |
| A | 0 – 18 | 4,57 | 1 | 15 | 0,01 | 0,03 | 1,06 | 6,84 |
| AB | 18 – 40 | 4,33 | 1 | 4 | 0,01 | 0,01 | 1,34 | 5,10 |
| BA | 40 – 64 | 4,39 | 1 | 3 | 0,01 | 0,01 | 0,86 | 3,52 |
| Bw1 | 64 – 90 | 4,43 | 1 | 2 | 0,01 | 0,01 | 0,77 | 2,88 |
| Bw2 | 90 – 150 | 4,45 | 1 | 2 | 0,01 | 0,01 | 0,77 | 2,72 |

Tabela 1. Continuação.

| Horizonte | Prof. (cm) | pH em água | P ⁽¹⁾ mg kg ⁻¹ | K ⁺ mg kg ⁻¹ | Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹ | Mg ²⁺ cmol _c kg ⁻¹ | Al ³⁺ cmol _c kg ⁻¹ | H+Al |
|--|------------|------------|---|---------------------------------------|--|--|--|------|
| Latossolo Amarelo distrófico petroplântico | | | | | | | | |
| A | 0 – 20 | 4,71 | 2 | 16 | 0,01 | 0,03 | 1,63 | 6,89 |
| AB | 20 – 40 | 4,67 | 1 | 11 | 0,01 | 0,03 | 1,15 | 5,73 |
| Bw | 40 – 95 | 4,68 | 1 | 2 | 0,01 | 0,01 | 0,99 | 3,52 |
| Bwc | 95 – 150 | 4,76 | 1 | 2 | 0,01 | 0,01 | 0,67 | 3,36 |
| Gleissolo Háptico Ta eutrófico | | | | | | | | |
| Ag | 0 – 13 | 4,84 | 69 | 46 | 9,86 | 3,21 | 2,50 | 6,37 |
| ACg | 13 – 35 | 5,83 | 34 | 39 | 12,45 | 4,99 | 0,48 | 3,44 |
| Cg | 35 – 62 | 5,94 | 33 | 30 | 11,92 | 5,33 | 0,35 | 2,57 |
| 2Cg | 62 – 100 | 6,51 | 33 | 44 | 13,01 | 7,37 | 0,08 | 2,57 |
| Neossolo Flúvico Ta eutrófico | | | | | | | | |
| A | 0 – 5 | 5,40 | 25 | 79 | 10,62 | 2,52 | 0,51 | 5,53 |
| 2C2 | 24 – 34 | 5,76 | 108 | 38 | 10,88 | 2,42 | 0,10 | 3,20 |
| 5C5 | 50 – 150 | 5,60 | 45 | 44 | 11,17 | 3,44 | 0,42 | 3,20 |

Resultados de análises de fracionamento químico de amostras de TPIs, realizadas por LIMA (2001), revelaram o predomínio, ou teores elevados, de P ligado a Ca (P-Ca) nesses solos em comparação aos demais solos adjacentes, indicando ser material rico em Ca e P a fonte original do P (Tabela 2). Ressalte-se que esse predomínio é mais marcante no horizonte superficial, onde foram depositados os resíduos. Nos horizontes subsuperficiais, tende a predominar P ligado a Fe (P-Fe) e P ligado a Al (P-Al), à semelhança do que ocorre nos solos adjacentes, embora o conteúdo de P-Ca seja elevado nos horizontes subsuperficiais das TPIs quando comparados aos solos adjacentes.

Tabela 2. Teor de P-total, P extraído por ácido cítrico e formas de P dos solos estudados.

| Horizonte | P-Al ⁽¹⁾ mg kg ⁻¹ | P-Fe ⁽²⁾ mg kg ⁻¹ | P-FAF ⁽³⁾ mg kg ⁻¹ | P-FAH ⁽⁴⁾ mg kg ⁻¹ | P-Ca ⁽⁵⁾ mg kg ⁻¹ | P-total | P ₂ O ₅ ⁽⁶⁾ |
|--|--|--|---|---|--|---------|--|
| Argissolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | |
| A | 273 | 246 | 156 | 29 | 201 | 1322 | 346 |
| Bt | 240 | 329 | 72 | 5 | 52 | 1343 | 322 |
| Latossolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | |
| A | 328 | 344 | 181 | 35 | 905 | 6057 | 4548 |
| A3 | 358 | 491 | 86 | 19 | 1027 | 7632 | 7509 |
| Bw | 205 | 573 | 190 | 8 | 488 | 2987 | 3172 |
| Cambissolo eutrófico antrópico | | | | | | | |
| A | 188 | 344 | 226 | 37 | 1108 | 5068 | 3066 |
| Bi1 | 211 | 230 | 82 | 9 | 596 | 2588 | 167 |
| Bi2 | 92 | 60 | 14 | 2 | 78 | 774 | 124 |
| Latossolo Amarelo distrófico típico | | | | | | | |
| A | 43 | 11 | 17 | 3 | 13 | 188 | Nd |
| Bw | 39 | 1 | 20 | 2 | 2 | 201 | Nd |
| Latossolo Amarelo distrófico petroplântico | | | | | | | |
| A | 37 | 23 | 32 | 5 | 13 | 141 | Nd |
| Bw | 41 | 36 | 19 | 2 | 10 | 186 | Nd |
| Gleissolo Háptico Ta eutrófico | | | | | | | |
| A | 55 | 161 | 86 | 12 | 40 | 722 | Nd |
| C | 43 | 73 | 45 | 4 | 42 | 540 | Nd |
| Neossolo Flúvico Ta eutrófico | | | | | | | |
| A | 39 | 112 | 40 | 11 | 50 | 697 | Nd |
| C | 49 | 104 | 39 | 4 | 48 | 551 | Nd |

⁽¹⁾P ligado a Al; ⁽²⁾P ligado a Fe; ⁽³⁾P ligado à fração ácidos fúlvicos; ⁽⁴⁾P ligado à fração ácidos húmicos; ⁽⁵⁾P ligado a Ca; ⁽⁶⁾P determinado no ácido cítrico; nd não-determinado.

Características mineralógicas

Ao contrário das características químicas que mostraram diferenças expressivas entre as TPIs e os solos adjacentes, não se observaram diferenças expressivas na composição mineralógica da fração argila dos solos estudados, excetuando-se os solos de várzea, sendo esta dominada basicamente por caulinita (Fig. 2), com a ocorrência de goethita, hematita e óxidos de Ti. Também não se observaram diferenças na composição mineralógica das frações silte e areia fina desses solos.

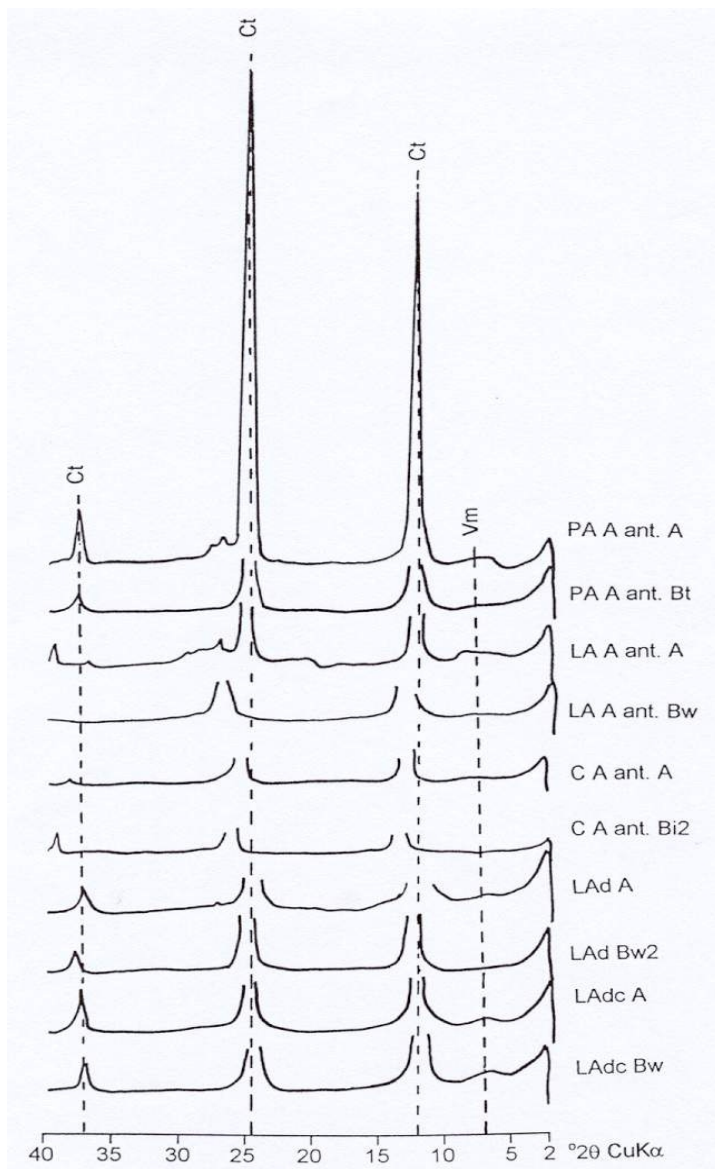


Fig. 2. Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada das Terras Pretas de Índio e dos solos adjacentes.

Observações mais recentes têm revelado a presença de maghemita na fração areia e em fragmentos de cerâmica presentes nas TPIs (COSTA et al., 2004; SÉRGIO et al., 2006). A ocorrência de maghemita em TPIs ratifica a hipótese do uso constante do fogo nas atividades humanas nessas áreas, em concordância com a natureza semi-carbonizada das substâncias húmicas encontradas nesses solos (BENITES et al., 2005).

Sabe-se que uma das principais vias para a formação da maghemita em solos é a transformação de óxidos de Fe pedogenéticos (goethita, lepidocrocita e ferridrita) por aquecimento, via queimadas (elevação da temperatura entre 300 e 425°C) na presença de compostos orgânicos (SCHWERTMANN & FECHTER, 1984).

Também não foram observadas diferenças expressivas nos teores de Fe e Al extraídos por ditionito citrato de Na e por oxalato de amônio das TPIs e dos solos adjacentes. Os teores de Mn, nos horizontes antrópicos, mostraram valores elevados, comparáveis àqueles observados nos solos de várzea, sendo muito baixos ou ocorrendo em níveis não-detectados por espectrofotometria de absorção atômica nos demais solos de terra firme e nos horizontes subsuperficiais das TPIs (Tabela 3).

Adicionalmente, não foram observadas grandes diferenças nos valores da substituição isomórfica estimada de Fe por Al nos óxi-hidróxidos de Fe da fração argila das TPIs e dos solos adjacentes, a qual variou entre 0,17 e 0,29 mol mol⁻¹. Sendo esses valores superiores àqueles observados nos solos de várzea (Tabela 3).

Tabela 3. Ferro total, Fe do ataque sulfúrico, óxidos de Fe, Al e Mn e estimativa de substituição de Fe por Al nos solos estudados.

| Horizonte | Al _d ⁽¹⁾ | Al _o ⁽²⁾ | Fe _d ⁽³⁾ | Fe _o ⁽⁴⁾ | Fe _t ⁽⁵⁾ | Fe ₂ O ₃ ⁽⁶⁾ | Mn _d ⁽⁷⁾ | Mn _o ⁽⁸⁾ | Sub. Fe/Al ⁽⁹⁾ |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| mg kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Argissolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | | | |
| A | 15 | 5 | 72 | 8 | 79 | 34 | 0,50 | 0,45 | 0,24 |
| Bt | 16 | 2 | 78 | 2 | 90 | 82 | 0,01 | 0,01 | 0,27 |
| Latossolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | | | |
| A | 14 | 6 | 45 | 9 | 72 | 41 | 0,38 | 0,28 | 0,29 |
| Bw | 14 | 3 | 56 | 3 | 58 | 59 | 0,05 | 0,03 | 0,30 |
| Cambissolo eutrófico antrópico | | | | | | | | | |
| A | 13 | 6 | 49 | 8 | 75 | 43 | 0,28 | 0,21 | 0,26 |
| Bi2 | 6 | 1 | 46 | < 1 | 64 | 41 | 0,02 | 0,00 | 0,17 |
| Latossolo Amarelo distrófico típico | | | | | | | | | |
| A | 13 | 3 | 65 | 9 | 69 | 42 | 0,00 | 0,00 | 0,27 |
| Bw | 14 | 2 | 68 | 1 | 77 | 66 | 0,00 | 0,00 | 0,27 |
| Latossolo Amarelo distrófico petroplântico | | | | | | | | | |
| A | 14 | 3 | 63 | 5 | 67 | 41 | 0,00 | 0,00 | 0,29 |
| Bw | 14 | 2 | 66 | 2 | 71 | 53 | 0,00 | 0,00 | 0,27 |
| Gleissolo Háptico Ta eutrófico | | | | | | | | | |
| A | 4 | 4 | 36 | 29 | 57 | 58 | 0,59 | 0,43 | 0,14 |
| Cg | 4 | 2 | 26 | 12 | 68 | 58 | 0,24 | 0,17 | 0,16 |
| Neossolo Flúvico Ta eutrófico | | | | | | | | | |
| A | 4 | 4 | 46 | 38 | 59 | 53 | 0,69 | 0,53 | 0,09 |
| C | 4 | 4 | 34 | 28 | 54 | 52 | 0,48 | 0,41 | 0,02 |

(1), (3), (7) óxidos de Al, Fe e Mn extraídos por ditionito citrato de sódio na fração argila; (2), (4), (8) óxidos de Al, Fe e Mn extraídos por oxalato ácido de amônio na fração argila; (5) ferro total na fração argila; (6) ferro no ataque sulfúrico na TFSA; (9) substituição do Fe pelo Al, estimada segundo a fórmula: $(Al_{Fe}/27)/[(Al_{Fe}/27) + (Fe/56)]$, em que $Al_{Fe} = Al_d$, Al_o e $Fe_c = Fe_d - Fe_o$.

Feições micromorfológicas

As feições micromorfológicas foram estudadas apenas em amostras do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico (LAea) e do Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd). O horizonte A do LAea apresenta estrutura típica de solos com horizonte A chernozêmico (Fig. 3, A), mostrando uma mistura de agregados organo-minerais (Fig. 3, B e C), cuja impressão geral é de uma eficiente

mistura de materiais do horizonte A, rico em matéria orgânica, com agregados minerais dos horizontes subsuperficiais, o que se pode observar pelos abundantes canais de minhocas preenchidos por material escurecido no horizonte subsuperficial e com material do horizonte Bw no horizonte superficial. Por outro lado, o horizonte A do LAd mostra-se igualmente escurecido, mas não apresenta a estrutura típica de A chernozêmico (Fig. 3, E).

O horizonte subsuperficial do LAea e do LAd (Fig. 3, D e F) exibe um padrão de microagregados coalescidos, típico dos Latossolos Amarelos do Brasil (LIMA, 1981; SCHAEFER, 2001). O horizonte Bw do LAd (Fig. 3, F) exibe ainda fragmentos de petroplintita; e o horizonte Bw do LAea, abundantes fragmentos de carvão, resultantes da intensa atividade biológica incorporando material em profundidade.

Os fragmentos de cerâmica (Fig. 3, B) revelam a presença de mica, o que sugere que a argila empregada na sua produção foi, provavelmente, proveniente da várzea, uma vez que micas, comuns nos solos de várzea, ocorrem em níveis muito reduzidos ou estão ausentes nos solos bem drenados da Amazônia.

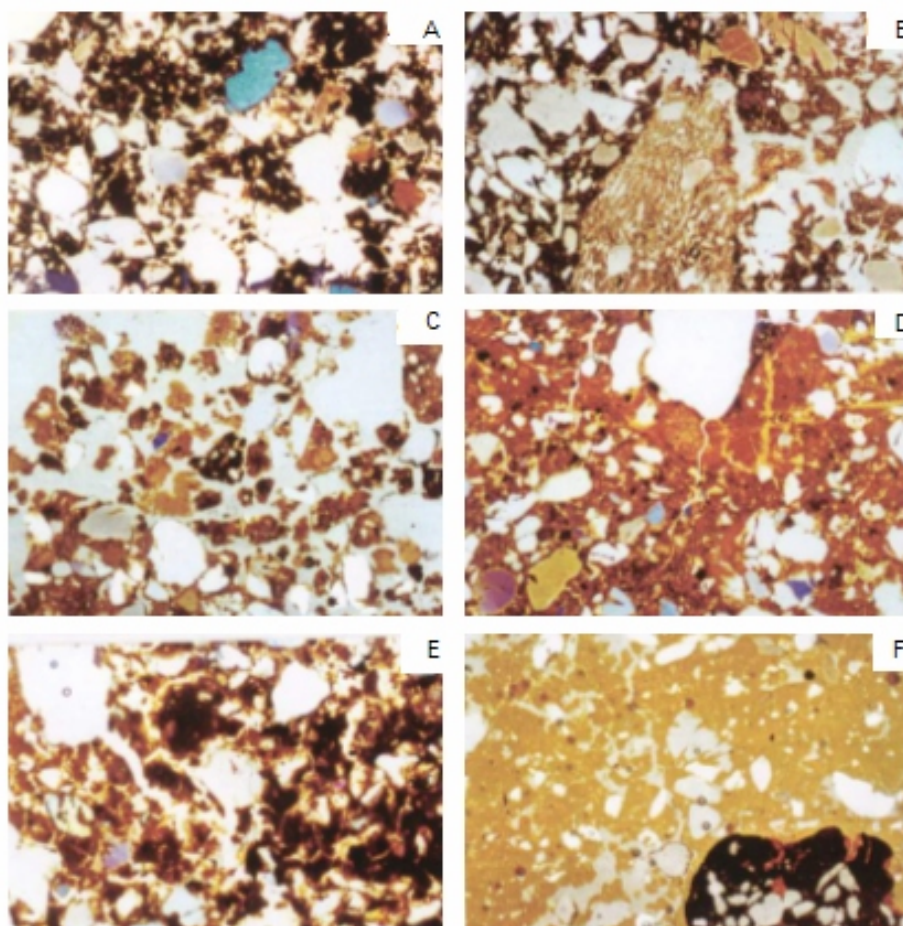


Fig. 3. Fotomicrografias dos horizontes A (A e B), AB (C) e Bw (D) do Latossolo Amarelo distrófico antrópico e A (E) e Bw (F) do Latossolo Amarelo distrófico típico.

Análises Microquímicas em MEV/EDS da Terra Preta e do Latossolo Amarelo

Horizonte A antrópico

O horizonte A antrópico apresenta plasma caulínico denso e coalescido, com ocorrência de grãos de quartzo e minerais de Ti. Ao lado desses, dispersos de forma aleatória na matriz do solo, ocorrem abundantes partículas de apatita biogênica, na forma de resíduos de ossos e espinhas de peixes, normalmente menores que 0,5 mm (Fig. 4).

As análises microquímicas de partículas de apatita biogênicas selecionadas neste estudo mostraram valores de CaO que variam de 35 a 46% e de P_2O_5 variando de 16 a 22% (Tabela 4), com valor médio da relação Ca/P igual a 2,05, sendo, portanto, típica de material de apatita de ossos, segundo os valores reportados por LeGEROS e LeGEROS (1984).

A morfologia dos fragmentos de apatita é extremamente diversificada, compreendendo desde partículas de ossos menores que 0,2 mm de comprimento e forma arredondada (Fig. 5, 7 e 8), até fragmentos de espinhas de peixes alongadas menores que 0,1 mm de comprimento. Essas partículas podem ser observadas em conjunto, aleatoriamente distribuídas e dentro de agregados granulares ricos em matéria orgânica e bem individualizados.

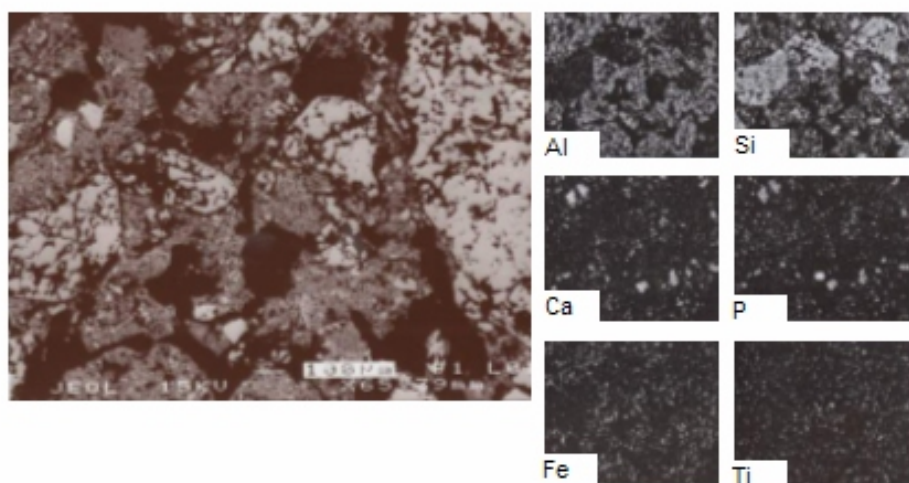


Fig. 4. Fotomicrografia em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte A do Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Aspectos gerais.

Embora os valores da relação Ca/P sejam similares entre os diferentes tipos de microfragmentos, a espinha de peixe mostra valores mais elevados de Al e Zn (Tabela 4), possivelmente em razão de diferenças biogênicas entre os materiais depositados ou do seu grau de pedoturbação.

No horizonte A do LAea ocorrem ainda formas de acumulação de P não associadas a valores de Ca elevados. São seções de canais biológicos (Fig. 6 e 9) com baixo retroespalhamento eletrônico, revelando, portanto, alto conteúdo de C orgânico e hidratação.

Essas formas de P ligadas à matéria orgânica e Al são possivelmente produtos da ingestão de minhocas e, provavelmente, de microartrópodes do solo. Apresentam sempre valores baixos de SiO_2 (7%) em relação ao Al_2O_3 (20%), com conteúdos de Fe_2O_3 semelhantes ao plasma latossólico (13%), revelando ainda teores elevados de P_2O_5 (11%) e mais reduzidos de CaO (3%) (Tabela 4).

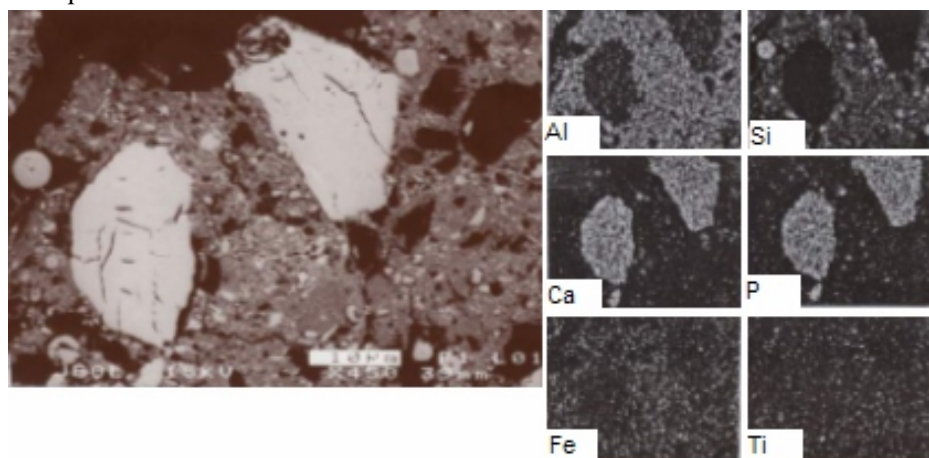
Tabela 4. Composição química de fragmentos de osso, espinha de peixe e canal biológico do horizonte A do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico.

| Óxidos | Fragmento de osso | Fragmento de osso | Fragmento de osso % | Fragmento de osso | Fragmento de espinha | Canal biológico |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| MgO | 0,32 | 0,12 | 0,22 | 0,22 | 3,97 | 0,25 |
| Al ₂ O ₃ | 1,11 | 0,18 | 2,94 | 1,23 | 0,91 | 20,23 |
| SiO ₂ | 0,40 | 0,29 | 0,31 | nd | 19,11 | 7,14 |
| P ₂ O ₅ | 21,75 | 16,45 | 22,43 | 17,89 | 0,31 | 11,29 |
| K ₂ O | 0,28 | 0,08 | 0,31 | 0,12 | 35,97 | 0,74 |
| CaO | 45,95 | 35,45 | 43,08 | 37,78 | 0,18 | 3,35 |
| TiO ₂ | 0,11 | 0,09 | 0,14 | 0,02 | nd | 1,06 |
| MnO | nd | 0,11 | 0,06 | 0,72 | 2,22 | 0,20 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,71 | 0,15 | 2,34 | 0,82 | 0,25 | 12,62 |
| CuO | nd | nd | 0,02 | nd | 0,40 | 0,32 |
| ZnO | 0,06 | nd | 0,08 | nd | | 0,17 |

nd - não detectado.

Constituem, portanto, formas secundárias de transformação da apatita primária pela ingestão por meio de organismos, predominantemente minhocas, que se revelam muito abundantes nas TPIs. Com a completa transformação da apatita, o P, menos móvel que o Ca, liga-se preferencialmente ao Al e Fe, além da matéria orgânica, constituindo formas residuais mais estáveis no ambiente onde estão presentes.

Em associação aos canais biológicos, diversos tipos de fragmentos de ossos, arredondados ou arestados, e carvão de diferentes formas, são encontrados no horizonte A do LAea (Fig. 5). A presença conspícua de fragmentos carbonizados, pobres em P ou Ca, ao redor de 0,1 mm, constitui registro das queimadas sobre os resíduos adicionados, tanto durante o período de formação das TPIs, quanto pelos cultivos subsequentes.

**Fig. 5.** Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte A do Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Em destaque, fragmentos de ossos.

Horizonte transicional AB

No horizonte transicional AB, as feições estruturais são mais assemelhadas aos materiais latossólicos cauliniticos, sendo a estrutura granular bem coalescida (Fig. 7). Há ocorrência de concentrações de microfragmentos de ossos (Fig. 6), ao lado de acumulações secundárias de P-Al, na forma de canais biológicos. Estes últimos possuem um padrão de baixo retroespalhamento, a exemplo do descrito no horizonte A, o que indica forte contribuição de P-orgânico em formas mais hidratadas.

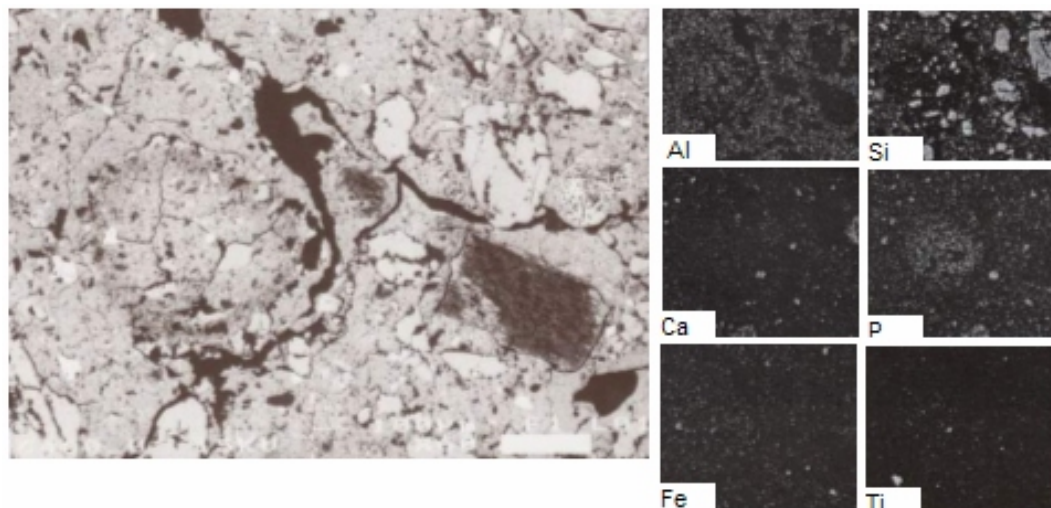


Fig. 6. Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte AB Latossolo Amarelo distrófico antrópico.

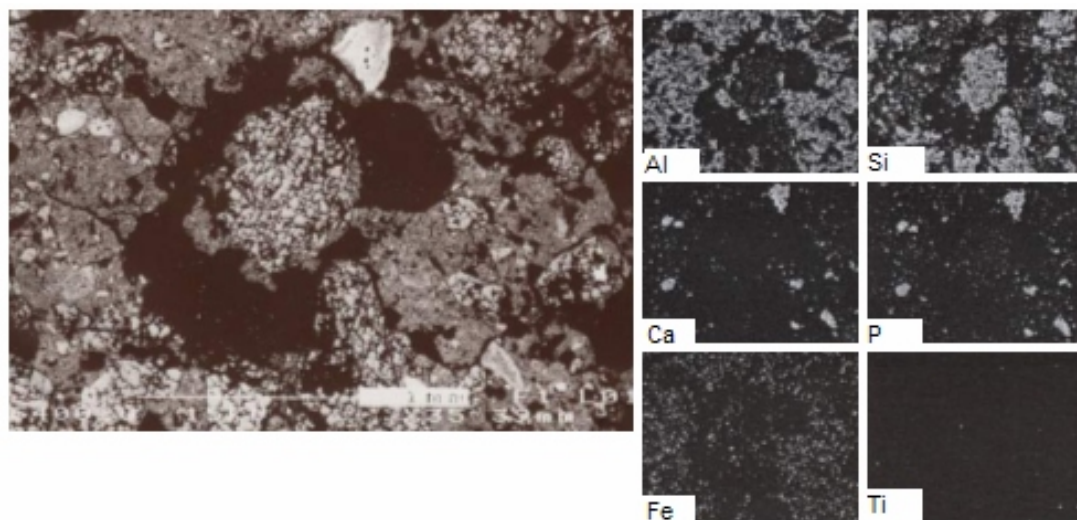


Fig. 7. Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte AB Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Em destaque, massa latossólica e fragmentos de ossos.

A morfologia dos microfragmentos é extremamente variada, desde arestados (Fig. 5) até feições mais degradadas (Fig. 8), sem diferenças notáveis em relação ao horizonte A. Seções de canais biológicos são mais abundantes que no horizonte A, com formas arredondadas e elipsoidais, sempre com presença de plasma mais fino, com concentração de Al e marcante depleção de Si, exceto nos grãos residuais de quartzo muito pequenos que se distinguem como inclusões dentro do plasma aluminoso do canal biológico.

Nos grãos de quartzo maiores, os quais formam o esqueleto, observa-se uma infiltração ferruginosa ao longo das fraturas, sendo chamados de quartzo ruíniforme. Esses têm sido interpretados como litorelíquias de grãos de quartzo, com infiltrações provenientes da destruição de couraça ferruginosa pré-existente, sendo comuns em solos tropicais. Por sua vez o valor do Ki do plasma (1,71) revela sua composição predominantemente caulinítica, como mencionado anteriormente e observado nos difratogramas de raios-x.

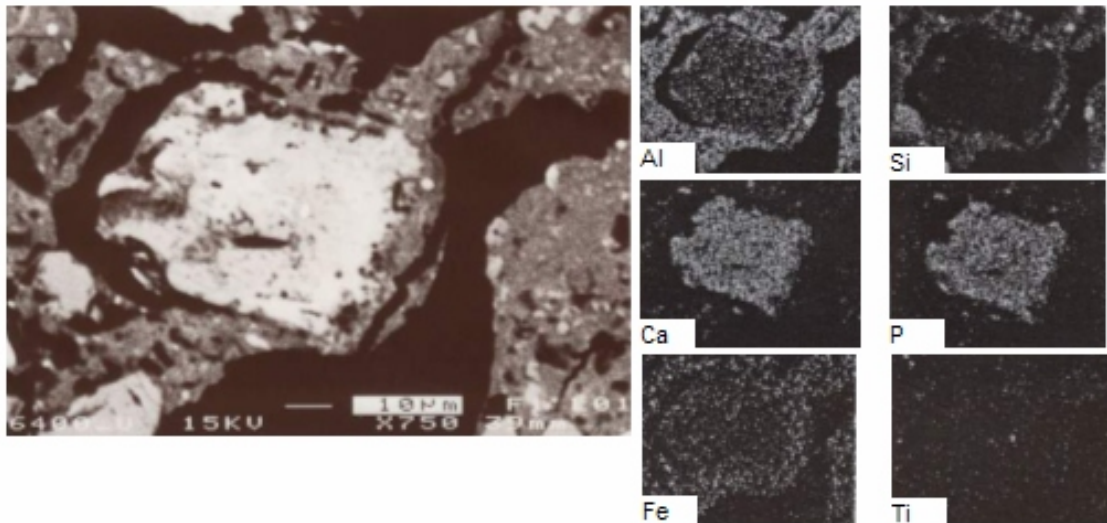


Fig. 8. Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte AB Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Em destaque, a morfologia de fragmentos de osso em processo de degradação.

Horizontes B latossólicos: LAea *versus* LAd

No horizonte Bw do LAea, a microestrutura granular é fortemente coalescida, sendo típica de Latossolos Amarelos cauliniticos da área de Tabuleiros Costeiros, a exemplo do descrito por LIMA (1981) e SCHAEFER (2001). Os grãos do esqueleto são predominantemente quartzosos, mas ocorrem pontuações diminutas de apatita de ossos, bem menos freqüentes do que nos horizontes A e AB, normalmente incluídas no plasma dos agregados e, ainda, nos espaços vazios e bordas (Fig. 9).

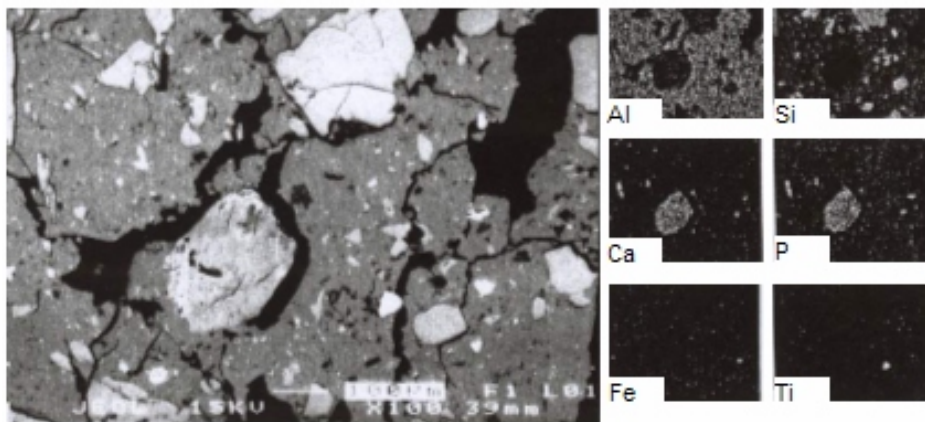


Fig. 9. Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico. Em destaque, a microestrutura coalescida da massa latossólica, com grãos de quartzo formando o esqueleto e fragmentos de ossos em processo de degradação.

Além dessas partículas, de dimensão inferior a 0,1 mm e arredondadas, ocorrem também fragmentos ósseos em processo de degradação, com formas variadas e concentrações de P e Ca semelhantes aos materiais encontrados nos horizontes A e AB. Como se tratam de horizontes minerais, latossólicos e cauliniticos, a presença dessas partículas é atribuída à ação biológica de pedoturbação, já que se encontram distribuídas aleatoriamente e são de dimensões reduzidas.

Esse fato ilustra a ação enriquecedora de longo prazo do horizonte A para o horizonte Bw pela pedoturbação intensa, na presença de materiais orgânicos ricos e condições favoráveis à atividade da biota do solo. O enriquecimento do horizonte Bw do LAea é bem evidenciado quando se compara com os valores do plasma da massa latossólica do LAd (horizonte Bw2). Com relações molares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ semelhantes e teores comparáveis de Fe_2O_3 e TiO_2 , os solos se diferenciam nos teores de P_2O_5 , CaO e MgO , sempre maiores no plasma do Bw da TPI (Tabela 5).

Os mapas microquímicos do horizonte Bw2 do Latossolo Amarelo ilustram a ocorrência de plasma argiloso com valores negligíveis de P e Ca (Fig. 10; Tabela 5), e presença de minerais como óxidos de Ti e zircão, freqüentes em solos muito intemperizados.

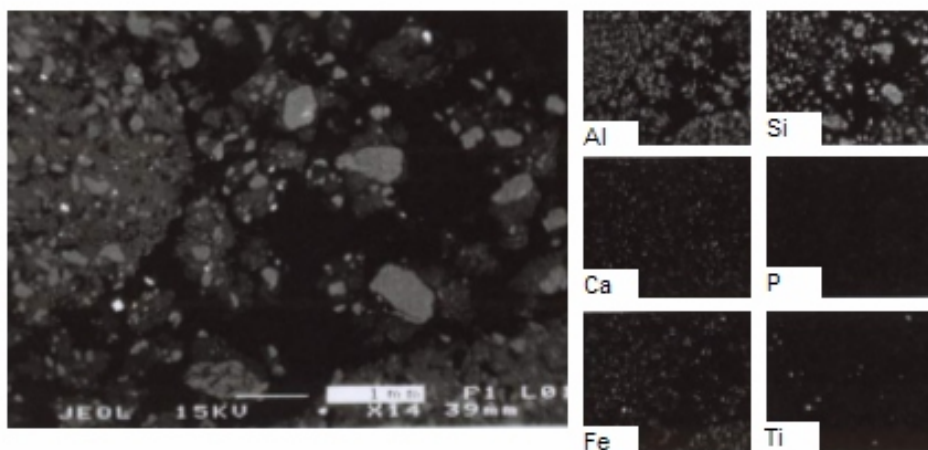


Fig. 10. Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw do Latossolo Amarelo distrófico típico. Em destaque, a microestrutura coalescida da massa latossólica, com grãos de quartzo formando o esqueleto.

Tabela 5. Composição química de horizontes subsuperficiais do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico e Latossolo Amarelo distrófico típico e do cimento ferruginoso em quartzo ruíniforme.

| Óxido | Cimento ferruginoso na fratura do quartzo ruíniforme | Horizonte Bw (Laea) | Horizonte Bw2 (Lad) |
|-------------------------|---|---------------------|---------------------|
| % | | | |
| MgO | 0,20 | 0,58 | 0,10 |
| Al_2O_3 | 12,29 | 19,83 | 12,55 |
| SiO_2 | 7,98 | 20,17 | 15,48 |
| P_2O_5 | 0,68 | 0,58 | nd |
| K_2O | 0,08 | 0,25 | 0,20 |
| CaO | nd | 0,50 | nd |
| TiO_2 | 0,73 | 1,42 | 1,57 |
| Fe_2O_3 | 42,32 | 8,25 | 6,12 |

nd - não detectado.

Elementos-traços

Análises dos elementos-traços na fração argila revelaram altas concentrações de Mn e Zn nos horizontes antrópicos das TPIs, comparadas com os horizontes B destes mesmos solos e com os horizontes A e B dos solos adjacentes (Tabela 6). Concentrações significativamente elevadas de Mn e Zn foram também observadas por KERN e KÄMPF (1989) e KERN e COSTA (1997) em TPIs da Amazônia Oriental.

Tabela 6. Teor total dos elementos químicos Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni e Cr na fração argila dos solos estudados.

| Horizonte | Fe | Mn | Cu | Zn | Cd | Ni | Cr |
|--|--------------------|---------------------|-----|-----|----|-----|-----|
| | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | | | | | |
| Argissolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | |
| A | 79,4 | 627 | 104 | 150 | 21 | 78 | 172 |
| Bt | 90,2 | 71 | 62 | 45 | 22 | 84 | 146 |
| Latossolo Amarelo eutrófico antrópico | | | | | | | |
| A | 57,4 | 387 | 90 | 245 | 20 | 97 | 17 |
| Bw | 68,5 | 84 | 42 | 97 | 19 | 94 | 1 |
| Cambissolo eutrófico antrópico | | | | | | | |
| A | 59,3 | 289 | 69 | 248 | 18 | 88 | 3 |
| Bi2 | 54,2 | 97 | 49 | 73 | 21 | 97 | 0 |
| Latossolo Amarelo distrófico petroplúntico | | | | | | | |
| A | 67,2 | 87 | 123 | 41 | 21 | 91 | 98 |
| Bw | 71,0 | 102 | 101 | 50 | 20 | 84 | 89 |
| Latossolo Amarelo distrófico típico | | | | | | | |
| A | 53,7 | 84 | 81 | 41 | 21 | 86 | 92 |
| Bw | 76,8 | 81 | 36 | 44 | 21 | 89 | 138 |
| Gleissolo Háptico Ta eutrófico | | | | | | | |
| A | 72,3 | 778 | 148 | 176 | 22 | 108 | 92 |
| C | 57,7 | 379 | 106 | 168 | 18 | 99 | 80 |
| Neossolo Flúvico Ta eutrófico | | | | | | | |
| A | 74,9 | 755 | 121 | 156 | 17 | 103 | 0 |
| C | 64,1 | 502 | 82 | 158 | 16 | 91 | 54 |

Valores elevados de Mn e Zn foram igualmente observados nos solos de várzea, o que poderia indicar ser esse local a possível fonte desses elementos. Todavia, nenhuma relação consistente foi observada para os teores de Cu, Cd, Ni e Cr.

Conclusões

Apesar de haver diferenças em alguns dos atributos químicos e morfológicos entre as TPIs e os solos adjacentes, não se observou distinção na mineralogia da fração argila e em alguns dos aspectos químicos entre os referidos solos, o que reforça a idéia de que se tratam de solos originados a partir da mesma matriz mineral, sendo as TPIs produto de ações antrópicas sobre solos pré-existent.

Microfragmentos de apatita biogênica na forma de ossos e espinhas de peixe com morfologias variadas constituem a fonte primária de P e Ca da TPIs. Formas secundárias e complexas de P-Al e P-Fe são provenientes da intensa pedoturbação, incorporando P em profundidade.

A distribuição de P em profundidade, enriquecendo o horizonte Bw do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico, é resultante do intenso processo de pedoturbação nas áreas de TPIs.

A Mineralogia e Composição Química de Fragmentos de Cerâmicas Arqueológicas em Sítios de Terra Preta de Índio

Marcondes Lima da Costa
Marciléia Silva do Carmo
Edivan Costa Oliveira
Hedinaldo Lima
Dirse Clara Kern
Juergen Goeske

São inúmeras as ocorrências de sítios arqueológicos atualmente catalogados na Amazônia. Muitos deles se destacam pela presença de Terra Preta de Índio (TPI), ou Terra Preta Arqueológica (TPA), que tem sido motivo de muitos estudos nas últimas décadas, principalmente por conterem vestígios de material cerâmico e mesmo líticos (Smith, 1879; Balée, 1986; Kern & Kämpf, 1989, 1990). Estes são os poucos registros deixados por nossos antecessores, resquícios que subsistiram às intempéries tropicais e que podem contribuir para o entendimento da forma de vida e dos hábitos das populações pré-históricas que ocuparam a Amazônia. Os fragmentos cerâmicos espalham-se pela superfície das TPIs, estendendo-se até o horizonte AB. Eles são provenientes dos descartes de utensílios cerâmicos, certamente de uso diário para o preparo e a guarda de alimentos. Esses utensílios cerâmicos foram provavelmente confeccionados pelos ocupantes da região, que utilizavam as matérias-primas disponíveis nela e nas regiões vizinhas, segundo estudos etnográficos. As técnicas e as formas de acabamento são indicadores do grau de evolução de cada comunidade ou mesmo cultura (Lisboa, 2002).

Nas TPIs são encontrados também ossos, conchas, fogões etc., que servem de identificação dos grupos pré-históricos (Ranzani et al., 1962; Falesi, 1974; Eden et al., 1984).

Enquanto há milhares de anos, A China, a Grécia antiga, o Império Romano e muitos outros locais, inclusive os povos andinos, desenvolviam cerâmica de alta qualidade, na Amazônia os artefatos cerâmicos são predominantemente de cerâmica vermelha simples. Somente as culturas marajoara e tapajônica alcançaram grande desenvolvimento na tecnologia cerâmica, mas que desapareceu antes do contato com o europeu, ou mesmo em consequência dele. Embora a Região Amazônica venha experimentando um longo período de clima quente e úmido, os fragmentos cerâmicos têm sobrevivido nos solos TPIs (Costa et al., 2004a, b), certamente por conta de sua composição mineralógica. Contudo, esse clima permitiu que, nos antigos assentamentos humanos pré-históricos abandonados, houvesse a transformação dos terrenos da área ocupada em solos ricos em matéria orgânica com alta fertilidade, as terras pretas (Kern et al., 2003).

Ao contrário da terra preta, que é investigada em detalhe, pouca atenção é dada ainda à mineralogia, ao padrão textural e à composição química dos artefatos cerâmicos encontrados em grande quantidade nesses solos. Destacam-se os trabalhos de Costa et al. (1991; 1993; 2001; 2003; 2004a e 2004b) e Pinto et al. (1992) que enfatizam a mineralogia e a composição química de cerâmicas de Cachoeira-Porteira (Oriximiná, Pará); de Costa & Kern (1994), Kern & Costa (1997), Coelho et al. (1996) que abordam parcialmente as cerâmicas arqueológicas e caboclas de Caxiuanã; Latini et al. (2001), Nicoli et al. (2001) nas cerâmicas do Acre com dados apenas químicos; Lima et al. (2002) para cerâmicas próximas a Manaus e fronteira Amazonas-Colômbia com ênfase na química.

O Fósforo em Cerâmica Arqueológica

Um dos aspectos mais importantes das cerâmicas arqueológicas da Amazônia descoberto recentemente são os elevados conteúdos de fósforo (1% a 9% de P_2O_5 , em geral entre 1% e 3%). Teores acima de 0,2 %, portanto bem mais baixos, têm sido encontrados em vasos cerâmicos na Antiga Europa, Norte da África e Extremo Oriente (Duma, 1972; Dannel & Hunt, 1990; Bollong et al. 1993; Freestone et al. 1994), que são interpretados como absorvidos dos solos adjacentes, e não como produto de preparo de alimentos. Os teores de fósforo nas TPIs da Amazônia alcançam até 9% de P_2O_5 , e seus teores nos solos estão sempre abaixo de 0,1% independentemente da ocorrência de cerâmica. Ou seja, parece difícil explicar teores tão elevados de fósforo nas cerâmicas a partir desses solos. Enquanto o fósforo nas cerâmicas do Extremo Oriente Médio ocorre como apatita em grãos muito finos (Freestone & Middleton, 1987) ou até como um fosfato raro de Ca. nas cerâmicas encontradas nos sítios arqueológicos da Amazônia com TPI, normalmente não se identifica uma fase mineral fosfática. Localmente é possível caracterizar variscita-estregita, $(Al, Fe)(PO_4) \cdot 2(H_2O)$, tanto por DRX como por SEM/EDS, e recentemente se identificou por DRX e SEM/EDS crandallita, $CaAl_3(PO_4)_2(OH)_5$, em cristais romboédricos submicrométricos. Foram também identificados raros cristais de rhabdophana, $CePO_4 \cdot H_2O$, e apatita constituindo pequenos fragmentos de ossos. Esses dados indicam que o fósforo presente nas cerâmicas encontra-se na forma de fosfatos de alumínio amorfos e cristalinos, com predominância dos primeiros.

Principais Sítios Arqueológicos de Terra Preta com Cerâmica

Os sítios com TPI estão presentes em quase toda Amazônia. No Acre, e mesmo no sudoeste do Amazonas, são ainda desconhecidos. São freqüentes ao longo dos rios, principalmente do Amazonas-Solimões e seus afluentes, formando manchas de alguns hectares e podendo alcançar centenas de hectares. Destacam-se pela cor preta muito escura, não usual dos solos amazônicos, ricos em artefatos cerâmicos (fragmentos) e podendo conter líticos (Sombroek, 1966; Falesi, 1974; Eden et al., 1984; Kern & Kämpf, 1989). Sua fertilidade contrasta com a baixa fertilidade dos solos Amazônicos de terra firme. O processo de formação das TPI está provavelmente relacionado à recorrência de desmatamentos e queimadas, com habitação mais prolongada e adição de refugos domésticos (Ranzani et al., 1962; Smith, 1879; Pabst, 1985; Correa, 1987; Kern & Kaempff, 1989; Costa & Kern, 1999; Woods & McCann, 1999). Dados de datação por radiocarbono de diferentes sítios de TPI, a maioria com fragmentos cerâmicos, mostram que não são mais velhos do que 2000 anos (Eden et al., 1984; Andrade, 1986; Mora, 2001). A formação teria sido interrompida a partir dos Colombinos, por conta do gradual desaparecimento da população indígena (Moran, 1990). Isso mostra quão jovens são os artefatos cerâmicos da cultura ceramista na Amazônia.

Para a realização do presente trabalho, foram selecionados materiais cerâmicos de quatro regiões ricas em TPI na Amazônia: Alto Solimões no Estado do Amazonas; Cachoeira-Porteira no Rio Trombetas, Pará; entorno da Baía de Caxiuanã, Pará; Zona Litorânea do Nordeste Paraense - Salgado-Bragantina (Fig. 1).

Alto Solimões (inclui arredores de Manaus) - É uma região rica em TPI com muitos fragmentos cerâmicos e que foi investigada por Lima (2001) e Lima et al (2002). Os primeiros viajantes descreviam a riqueza da região em termos de várzeas produtivas, com alta densidade populacional.

Cachoeira-Porteira - Região rica em TPI com grande riqueza em fragmentos cerâmicos e uma das regiões de TPI melhor estudada, principalmente no que concerne ao seu material cerâmico (Costa et al., 2004a, 2004b, 2003, submetido), bem como na caracterização e evolução de seus solos antropogênicos (Kern & Kaempff, 1989, 1990; Kämpf et al, 2003).

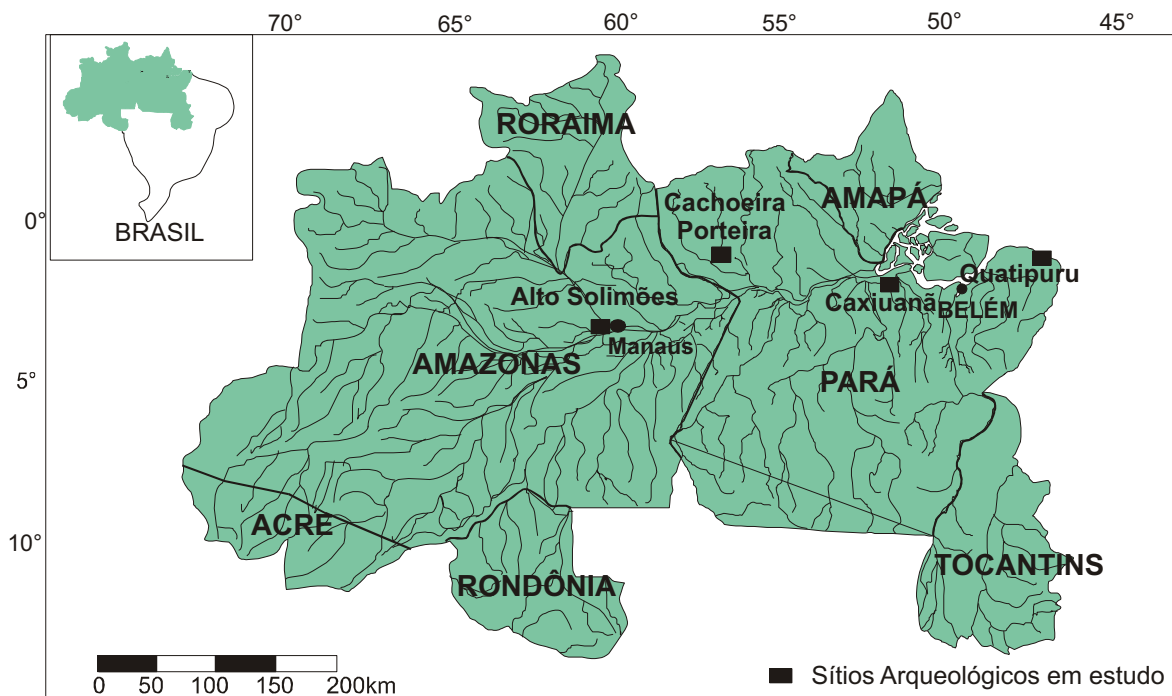


Fig. 1. Localização das principais regiões com TPI e fragmentos cerâmicos apresentados neste trabalho.

Baía de Caxiuana - Região localizada na Amazônia com ampla ocorrência de TPI e grande riqueza em fragmentos cerâmicos. Também foi e continua sendo objeto de pesquisas continuadas sobre os solos e o conteúdo cerâmico, destacando os trabalhos de Kern (1996), Costa & Kern (1999), Kern & Costa (2001), Costa et al. (Submetido).

Litoral Paraense (Zona Salgado-Bragantina) - Embora ainda pouco estudada em termos de TPI e seus fragmentos cerâmicos, ela tem sido objeto de estudos arqueológicos há muitos anos (Corrêa, 1987). Manchas de terra preta são conhecidas sem grandes expressões, mas ocupações humanas foram freqüentes, atestadas por sambaquis e tesos, ou expressões similares contendo muitos fragmentos cerâmicos. Cerâmicas foram obtidas nos sítios da cidade de Quatipuru e nos arredores da cidade de Bragança. As Terras Pretas foram estudadas por Kern et al. (1999).

Este trabalho apresenta e discute dados mineralógicos e químicos de fragmentos cerâmicos encontrados nas TPI das regiões acima descritas.

Materiais e Métodos

Caracterização Mineralógica e Textural por Microscopia Óptica

Foi utilizado um microscópio ótico marca ZEISS, modelo AXIOLAB POL, com o objetivo de verificar aspectos texturais, espécies minerais e matéria orgânica, procurando distinguir fases primárias, neoformadas durante a queima e após esta, tanto durante a utilização, como após o descarte nas lixeiras.

Determinações Mineralógicas por Difração de Raios X

É a técnica mais adequada para a determinação dos minerais principais e acessórios, pois as cerâmicas contêm muito material micro a criptocristalino embora sem vitrificação, e ainda amorfo. Foram utilizados difratômetros de raios x diversos, em distintas instituições, mas prevaleceu aquele do Centro de Geociências-UFPA, PHILIPS, modelo PW 3710, equipado com anodo de cobre ($\text{CuK}_\alpha = 1,54060 \text{ \AA}$), e o difratômetro da Panalytical, X'Pert do Werkstoffanalytiklauf-WL. Para a identificação dos minerais utilizaram-se os *softwares* APD (Philips) e o X'Pert em Lauf, Alemanha.

Análises químicas

Consistiram na caracterização química total dos fragmentos cerâmicos, foram utilizados métodos de análises químicas clássicas por via úmida e Espectroscopia de Absorção Atômica. As análises; no entanto, foram realizadas nos laboratórios de Análises Químicas do Centro de Geociências-UFPA e também nos laboratórios ActLab no Canadá, que emprega ICP-MS. Também foram determinados os elementos-traço, tanto por espectrometria de absorção atômica como por ICP-MS.

Microanálises Químicas por Microscopia Eletrônica de Varredura/Sistema de Energia Dispersivo (MEV/SED)

Empregou-se para identificar fases mineralógicas, como cristalitos ou microagregados de fosfatos, que não foram identificadas por DRX e nem microscopia ótica, embora os conteúdos de fósforo total fossem relativamente elevados. As análises de MEV foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém/PA, na CBMM em São Paulo, no Werkstoffanalytiklauf, em Lauf - Alemanha e ainda no Centro de Geociências/UFPA. As análises semiquantitativas foram obtidas através do sistema analítico de espectrometria de dispersão de raios-X (SED). As mais recentes análises de MEV têm demonstrado seu alto potencial para o estudo das cerâmicas arqueológicas, permitindo identificar a presença de fosfatos e outros minerais. Os fragmentos em geral foram metalizados com Au, sob atmosfera de Ar com pressão de 3×10^{-1} mbar e corrente de 25 mA, por 02'30".

Características gerais das cerâmicas

As cerâmicas arqueológicas, por conta de sua constituição física e mineralógica, resistem às severas condições do clima tropical quente e úmido, favorecidas, ainda, pelo pequeno espaço de tempo de exposição, pois ainda se encontram fragmentos com restos de pinturas e desenhos, quer soterrados ou não.

Além da matéria-prima constituída de argila, os ceramistas pré-históricos adicionavam temperos como: cariapé, cauixi, restos de cerâmicas e areia (Hilbert, 1955). O cauixi (*Tubella reticulata* e *Parnula betesil*), (Fig. 2a), é um espongíario de água doce que se aloja nos galhos e troncos das árvores, de barcos e nos sedimentos de fundo de lagos e rios. O cauixi é formado de SiO_2 amorfa. O tempero era e continua sendo adicionado na confecção de utensílios cerâmicos, para melhorar a plasticidade, praticamente em toda Amazônia. No passado, a técnica conseguiu se alastrar por esta grande região, mostrando as conexões existentes entre os seus povos de então. A tradição do cauixi foi modificada com a introdução do tempero cariapé (Fig. 2b), uma casca de árvore (*Bignoniaceae*, *Moquilea*, *Licania utilis* e *Turiuva*) (Hilbert, 1955) que também se constitui de SiO_2 amorfa. Antes de ser adicionada, a casca é calcinada para remoção dos componentes orgânicos não-silicosos (celulose), que prejudicam a durabilidade do utensílio. O cariapé é reconhecido pela forma alongada de plaquetas fibrosas dispersas na matriz aluminossilicata da cerâmica, principalmente com imagens de MEV (Fig. 3). O tempero areia corresponde à adição intencional desse material na massa de argila, representada

por fragmentos de quartzo, feldspatos e rochas (Fig. 2c). Já os resíduos de cerâmica representam o reaproveitamento de vasos descartados, triturados e adicionados à matéria-prima principal argilosa (Fig. 2d).

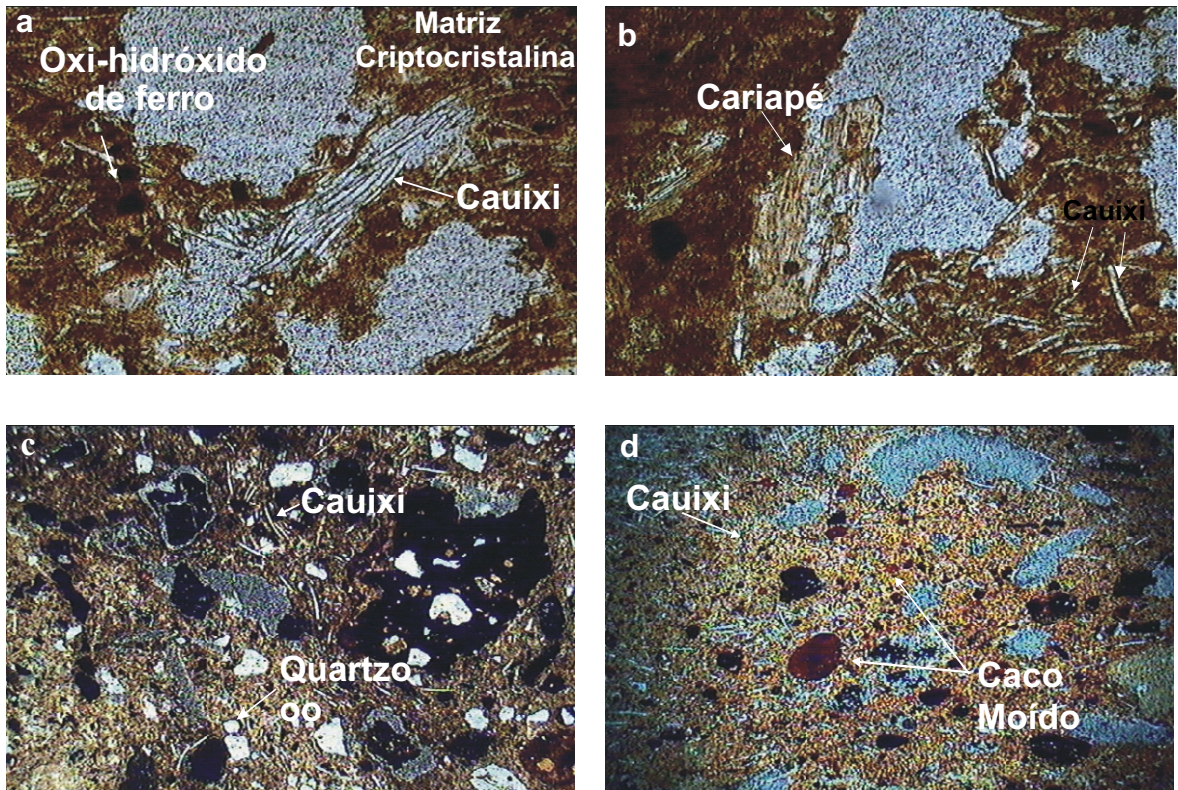


Fig. 2. Os distintos temperos das cerâmicas arqueológicas da Amazônia: a) cauixi; b) cariapé; c) areia; e d) caco moído.

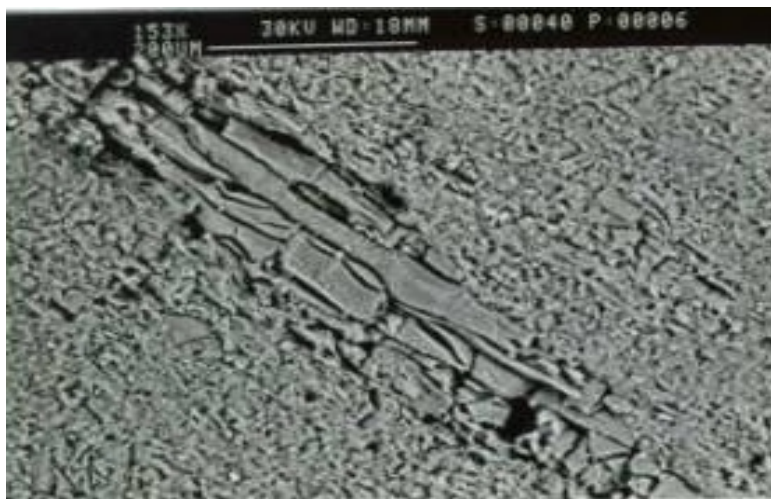


Fig. 3. Cerâmica com estrutura vegetal fibrosa de cariapé em matriz argilosa (Costa *et al.*, 2004b).

Mineralogia

Os fragmentos de cerâmica foram investigados por Costa et al. (1991, 1993, 2001, 2003, 2004a e 2004b) e Pinto et al. (1992) em Cachoeira-Porteira (Oriximiná, Pará); Costa & Kern (1994), Kern & Costa (2001), Coelho et al (1996), Kern & Costa (1997), Costa et al (2003) e Costa et al (in prelo) na Baía de Caxiuanã; Latini et al (2001) e Nicoli et al (2001) no nordeste do Acre e Lima et al (2002) nos sítios próximos a Manaus e na fronteira Amazonas-Colômbia. Embora ainda sejam proporcionalmente poucos, eles já permitem dar uma idéia geral de suas composições mineralógicas, as quais se concentram, principalmente, na presença de feldspatos, micas e por vezes anfibólio, o que certamente tem a ver com a procedência da matéria-prima, dos melhoramentos dos utensílios e com a diversidade de seus usos. Os fosfatos de alumínio, que até agora parecem ser uma característica de todas cerâmicas investigadas, mostram-se em teores variáveis, em geral abaixo de 6 %, porém em Bragança observou-se mais de 25 %.

Alto Solimões

Os fragmentos cerâmicos, situados principalmente nos horizontes Ap e AB, são maiores que 5 mm. Eles são formados principalmente de quartzo, uma massa argilosa denominada de filossilicática por Lima et al. (2002), interpretada como sendo tipo argila 2:1 por conta do Ki de 2,26 a 5,08; porém, o destaque deve-se à expressiva presença de mica em suas plaquetas, não especificada por Lima et al. (2002). Provavelmente não se trata de argila 2:1, mas de caulinita modificada, já que o índice Ki não é um critério seguro, pois sílica sempre foi adicionada intencionalmente. Embora não identificado o mineral de fósforo, análises de microsonda feita por Lima et al. (2002) mostram teores locais elevados de P_2O_5 , sem correlação com CaO, podendo assim tratar-se de fosfatos de alumínio, por correlação com as outras cerâmicas amazônicas (Costa & Kern, 1999; Costa et al., 2004a, 2004b). A mica nos sítios de TPI, muscovita de Quatipuru (encontrada em grande quantidade nos granitos das proximidades), está sempre associada à superfície externa das cerâmicas, indicando uma localização intencional, provavelmente como isolante e até mesmo decoração.

Cachoeira-Porteira

Os fragmentos são formados principalmente por quartzo, mineral de argila parcialmente cristalino, modificados pela queima, aqui denominado de caulinita calcinada, illita, feldspatos (albita e talvez microclíneo), muscovita, anatásio, bem como oxi-hidróxidos de ferro como maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) ou hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) e às vezes anfibólio (Tabela 1). Albita é encontrada com frequência nos temperos areia.

Tabela 1. Composição média mineralógica (% em peso) das cerâmicas de Cachoeira-Porteira (Oriximiná) e Manduquinha (Caxiuanã).

| | Quartzo + (cauixi + cariapé) | Caulinita | Albita | Illita | Óxidos de ferro (maghemita + hematita) | Fosfatos (variscita) | Anatásio |
|---------------------|---------------------------------|-----------|--------|--------|--|-------------------------|----------|
| *Cachoeira-Porteira | 41,4 | 27,7 | 12,2 | - | 9,9 | 5,3 | 0,9 |
| Manduquinha | 57,2 | 10,4 | 8,3 | 6,5 | 4,5 | 2,9 | 0,4 |

*Costa et al. (2004b).

As análises por MEV/SED permitiram a localização de fosfatos, interpretados como variscita-estregita, $(\text{Al, Fe})(\text{PO}_4).2(\text{H}_2\text{O})$. Alguns espectros de DRX indicam a presença desse mineral (Fig. 4). Verifica-se, por sua vez, uma preferência dos fosfatos para a zona de contato matriz e tempero. (Fig. 5).

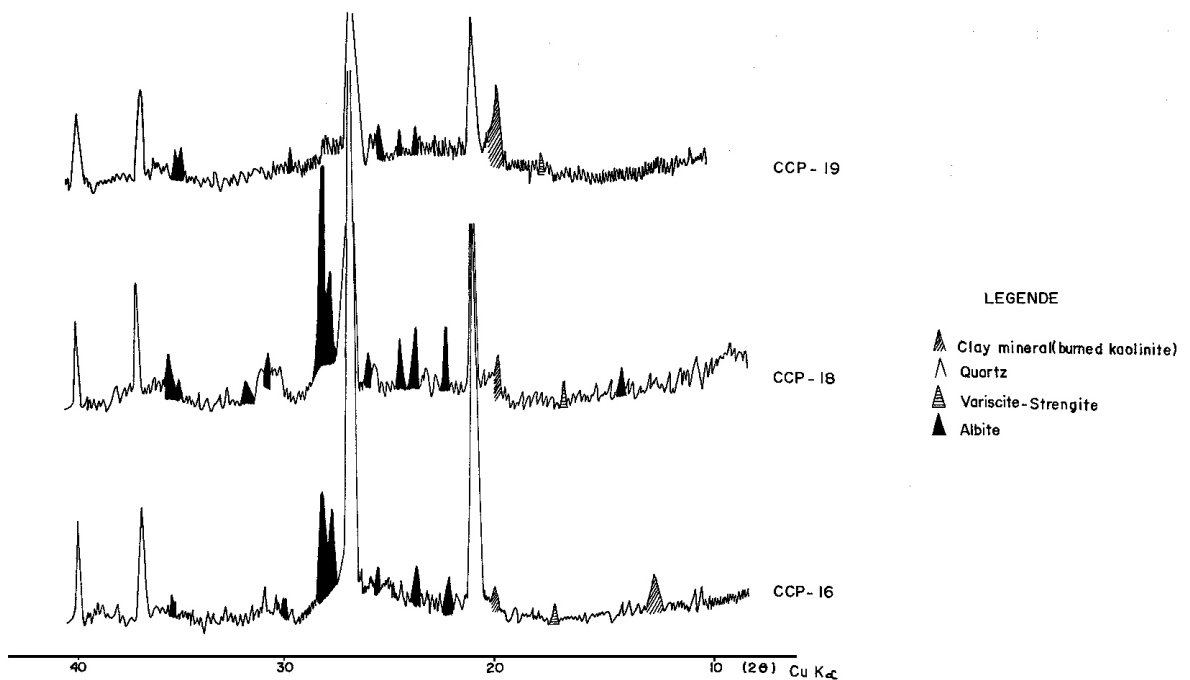


Fig. 4. Espectros de DRX de artefatos cerâmicos de Cachoeira-Porteira.

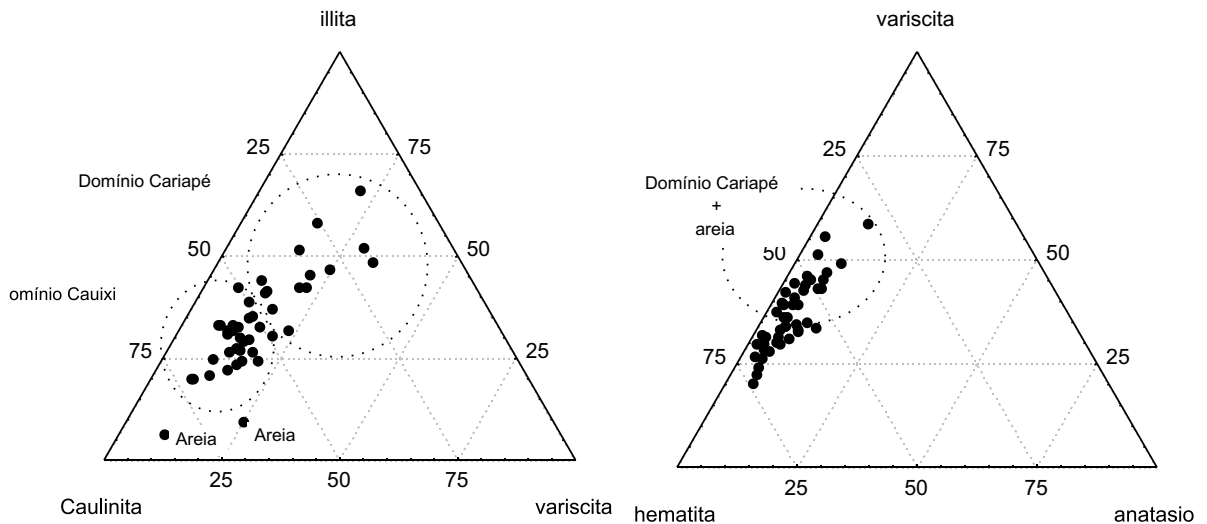


Fig. 5. Composição mineralógica de fragmentos cerâmicos nos diagramas caulinita-variscita-illita e hematita-anatásio-variscita e sua relação com os temperos cauxi, cariapé e areia.

Baía de Caxiuanã

Os fragmentos cerâmicos têm a mesma composição daqueles de Cachoeira-Porteira: quartzo, argilominerais parcialmente cristalinos e modificados pela queima (caulinita calcinada), illita, feldspato (albita e talvez microclíneo), anatásio, além de óxidos de ferro como maghemita ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$) ou hematita ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$) e, por vezes, anfibólio (Fig. 6, Tabela 1). A albita é encontrada na grande maioria

dos fragmentos de cerâmica e sua abundância é praticamente independente do tempero (Fig. 7a). As análises químicas sugerem a presença também de variscita, encontrada em todas as amostras, especialmente naquelas com tempero cariapé (Fig. 7b, c).

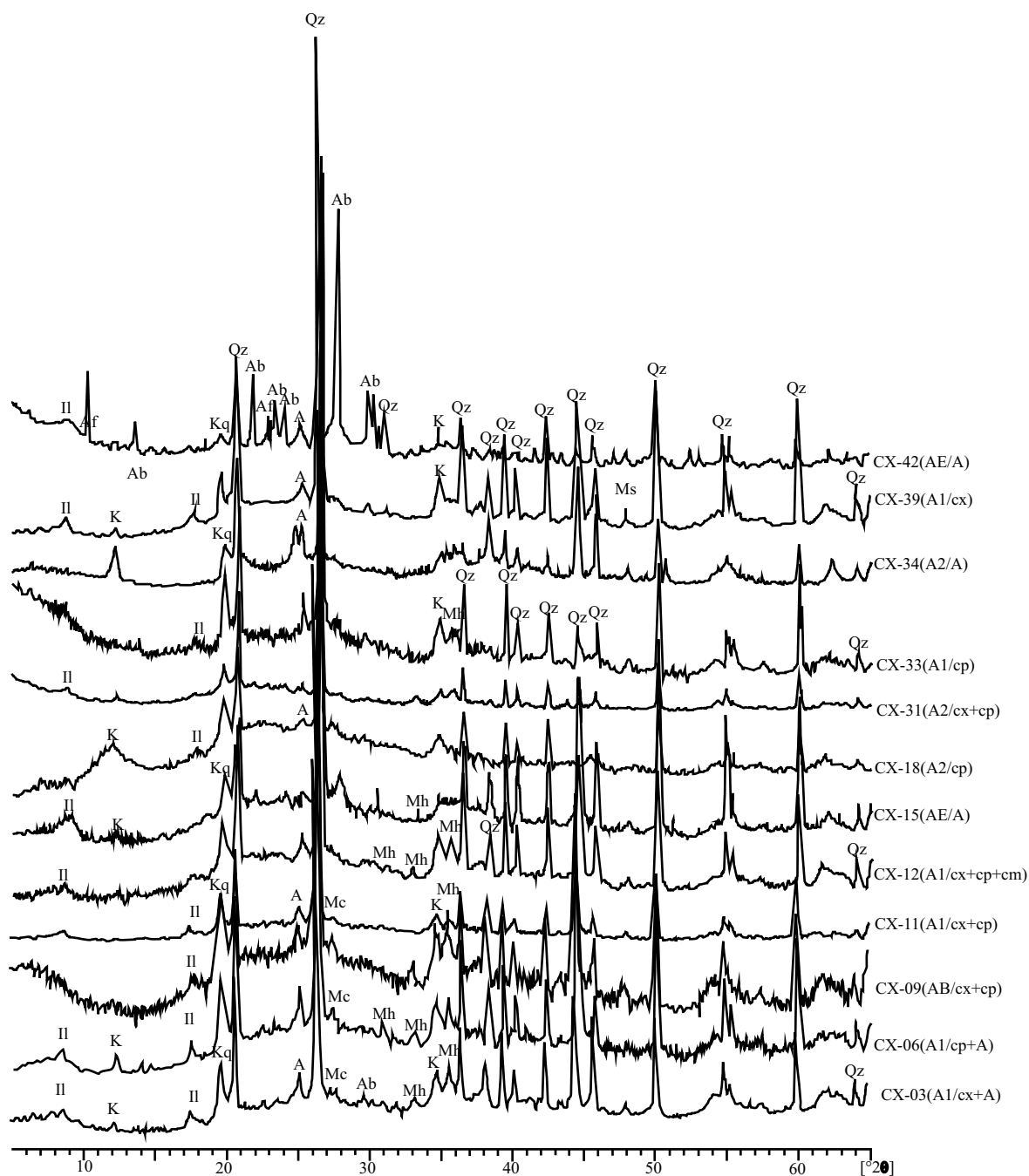


Fig. 6. Difratomogramas de raios-x dos fragmentos de cerâmica de Manduquinha mostrando a variação dos principais minerais segundo os horizontes de solo e os temperos.

Os elevados ruídos de fundo dos difratogramas de raios-x, observados principalmente nas amostras de cerâmicas, foram interpretados como indicativos de fases amorfas ou de baixa cristalinidade, como os argilominerais modificados termicamente (caulinita calcinada), cauxi e cariapé (Costa *et al.*, 2003). Os fragmentos com tempero cariapé tendem a ser mais ricos em argilominerais (Fig. 7b, d, e).

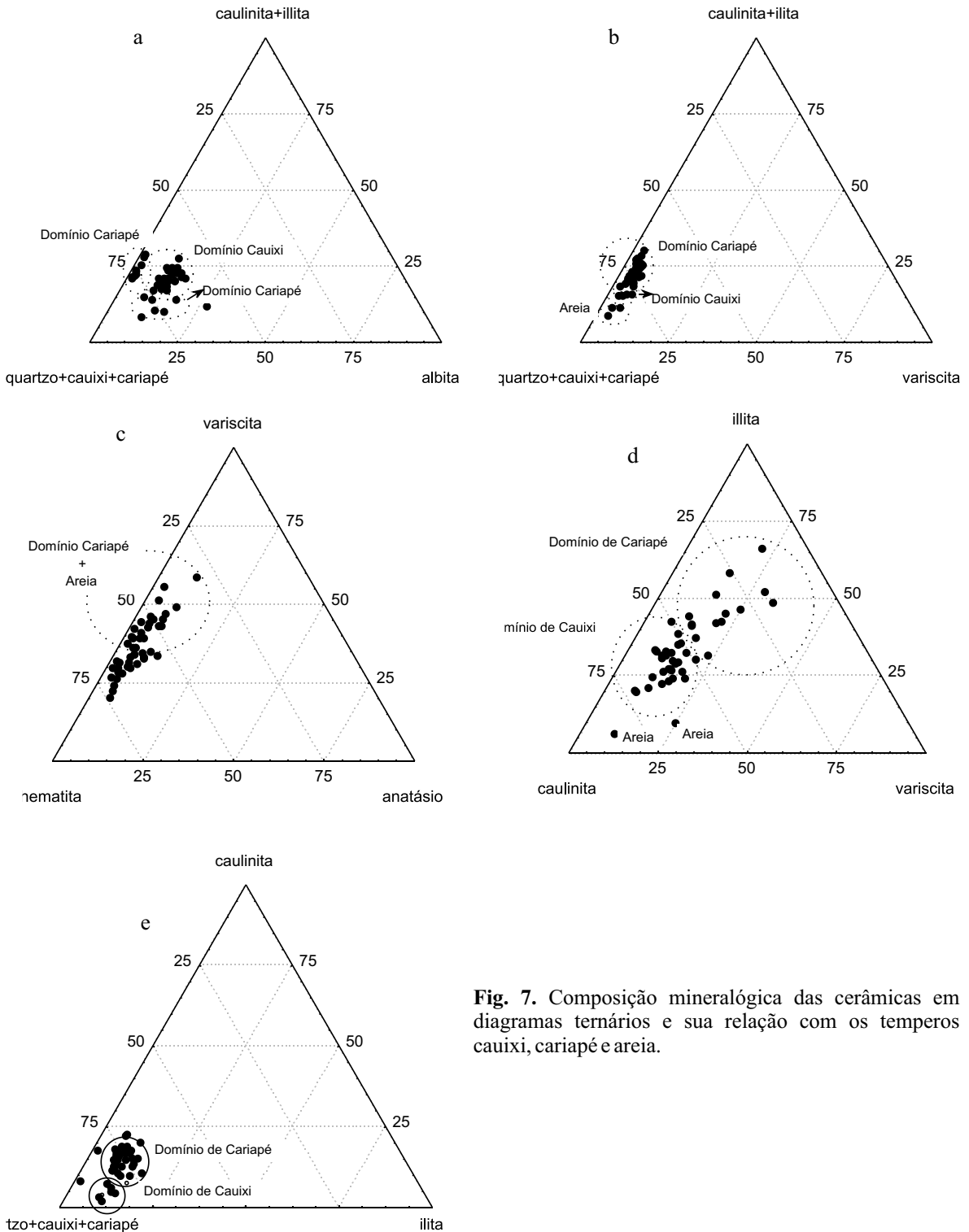


Fig. 7. Composição mineralógica das cerâmicas em diagramas ternários e sua relação com os temperos cauxi, cariapé e areia.

Litoral paraense (Zona Salgada-Bragantina-Quatipuru)

Esta região é rica em objetos arqueológicos como as cerâmicas; contudo estas ainda não foram devidamente investigadas. Os primeiros dados obtidos em cerâmicas de Quatipuru e arredores de Bragança mostram que elas além dos constituintes convencionais, quartzo e argila calcinada (caulinita queimada), contêm muita muscovita, especialmente em Quatipuru. Os fosfatos de alumínio, em Bragança, estão representados por grande quantidade de crandallita. São dessa região as cerâmicas com os mais altos teores de P_2O_5 até então encontrados, numa pequena faixa de terra preta. A crandallita forma cristais romboédricos micrométricos nos microvazios da massa criptocristalina de argila calcinada (Fig. 8).

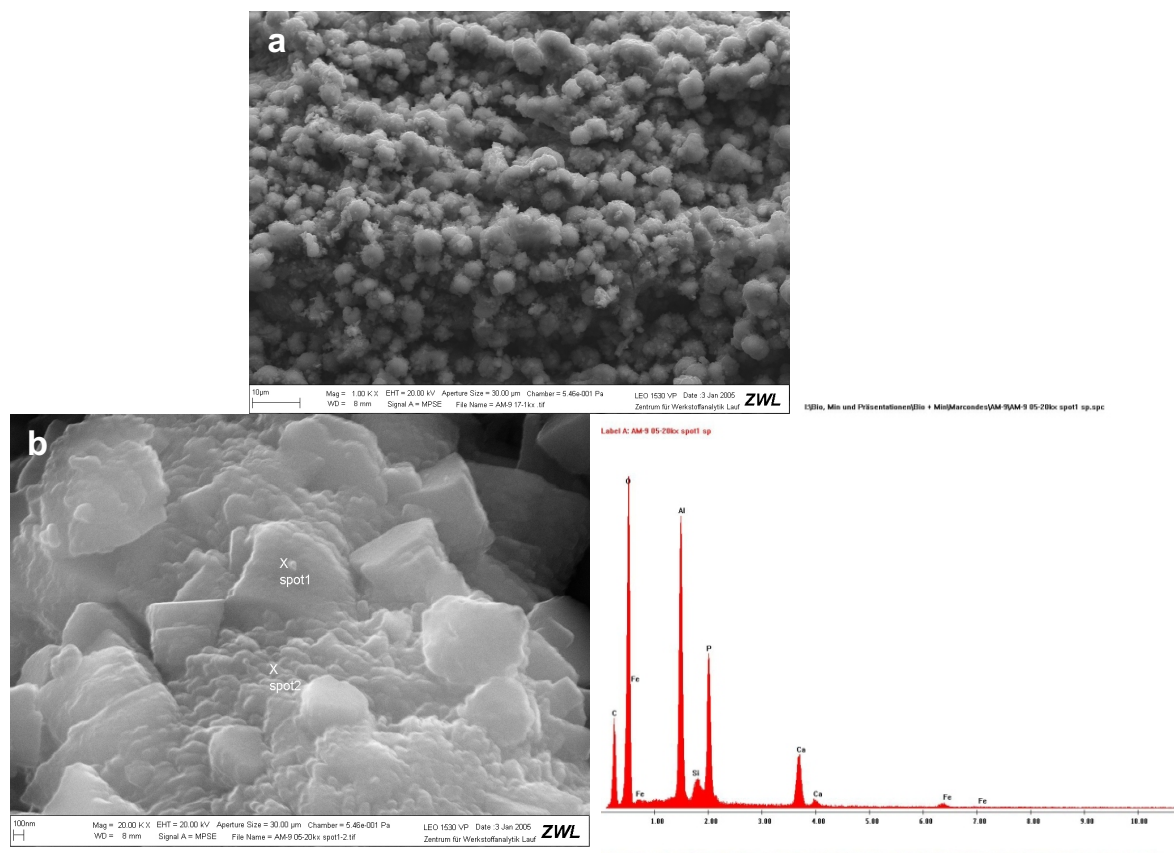


Fig. 8. Imagens de MEV/EDS de crandallita. a) Massa esferolítica de crandallita; b) Cristais romboédricos micrométricos de crandallita; c) Espectro analítico obtido com MEV/SED para crandallita em (b).

Composição Química

Alto Solimões

Ainda não há análises totais de amostras de cerâmicas dessa região. As análises realizadas são pontuais, obtidas com microsonda eletrônica (Tabela 2) por Lima et al. (2002). Mesmo sendo análises específicas pontuais, elas incluem dados da matriz e também de domínio micáceo. Em todos os casos, os teores de P_2O_5 são elevados, e não se correlacionam com os teores de cálcio, e são interpretados como fosfatos de alumínio. Em termos gerais destacam-se os altos teores de SiO_2 e Al_2O_3 que caracterizam as cerâmicas arqueológicas estudadas, além dos altos conteúdos de K_2O na zona de micas (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química do material cerâmico incorporado ao horizonte superficial da Terra Preta e do plasma argiloso contíguo ao material cerâmico (Lima, 2002).

| Óxidos | Material cerâmico Ap borda | Material cerâmico Ap centro | Material cerâmico Ap zona micácea | Materia cerâmico AB zona micácea | Material cerâmico AB borda | Plasma argiloso Ap externo à cerâmica | Plasma argiloso AB externo à cerâmica |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| % | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 2,45 | 3,12 | 3,83 | 3,55 | 5,17 | 0,78 | 0,83 |
| MgO | 1,20 | 1,50 | 1,50 | 1,25 | 1,30 | 0,37 | 0,25 |
| Al ₂ O ₃ | 22,33 | 13,28 | 24,83 | 23,00 | 20,67 | 22,33 | 21,50 |
| SiO ₂ | 36,83 | 39,70 | 38,50 | 37,17 | 31,83 | 24,17 | 23,50 |
| K ₂ O | 6,55 | 2,90 | 13,28 | 10,42 | 3,30 | 0,22 | 0,33 |
| CaO | 0,75 | 2,13 | 0,72 | 0,92 | 0,57 | 0,37 | 0,40 |
| TiO ₂ | 0,67 | 0,45 | 0,67 | 0,58 | 0,50 | 1,17 | 1,57 |
| MnO | 0,08 | 0,08 | 0,03 | 0,17 | 0,08 | 0,40 | 0,22 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,25 | 7,70 | 4,08 | 7,00 | 7,60 | 13,50 | 11,90 |
| CuO | 0,17 | 0,00 | 0,68 | 0,33 | 0,17 | 0,00 | 0,00 |
| ZnO | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,38 | 0,27 | 0,00 |

Cachoeira-Porteira

Aqui os fragmentos são classicamente formados por de SiO₂ e Al₂O₃ (Tabela 3). Os altos conteúdos de SiO₂ refletem os elevados valores de quartzo, além de caixi e cariapé, que associados aos de Al₂O₃ também explicam a abundância de aluminossilicatos como matriz, interpretados como caulinita calcinada, além de feldspatos e micas. Na₂O e K₂O respondem por albita e illita+muscovita, respectivamente. A reidratação da caulinita está indicada pelos altos valores de perda ao fogo. Os teores de P₂O₅ denunciam os fosfatos de alumínio amorfos.

A composição química das cerâmicas varia muito pouco e; portanto, não mostra qualquer relação com os horizontes de solo, nem mesmo os teores de fósforo, contrapondo-se à premissa de Freestone et al. (1994) que propõe que o enriquecimento em fósforo vem da adsorção daquele contido nos solos. O diagrama Al₂O₃-Fe₂O₃-P₂O₅ (Fig. 9b), mesmo mostrando um grande espalhamento, não discrimina tempo e nem indica alguma tendência para o fósforo.

Baía de Caxiuanã

Os fragmentos cerâmicos (Tabela 3) são constituídos predominantemente por SiO₂ (71,35 %), contendo ainda Al₂O₃ (8,6%), Fe₂O₃ (4,54%), P₂O₅ (1,31%), Na₂O (0,98%), K₂O (0,59%), TiO₂ (0,4%), MgO (0,26%), CaO (0,19%).

Tabela 3. Composição química média (% em peso) das cerâmicas arqueológicas de Cachoeira-Porteira e do Sítio Manduquinha.

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | MgO | CaO | P.F |
|---------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------|------|-------|
| *Cachoeira-Porteira | 65,55 | 16,37 | 5,79 | 2,37 | 0,69 | 0,90 | 0,86 | 0,63 | 0,43 | 7,54 |
| Manduquinha | 71,35 | 8,60 | 4,54 | 1,31 | 0,98 | 0,59 | 0,40 | 0,26 | 0,19 | 11,63 |

*Costa et al. (2004a).

Os altos teores de SiO_2 respondem pelos altos conteúdos de quartzo, além de cauixi e cariapé, e quando associados a Al_2O_3 representam os minerais de argilas (dominantemente caulinita) calcinados e os feldspatos. Os valores ainda relativamente elevados de Na_2O e K_2O confirmam a presença expressiva de albita e illita, respectivamente. Os altos valores de PF refletem: a presença de argila parcialmente calcinada e, portanto, com desidratação parcial (queima incompleta já demonstrada pela oxidação parcial); a reidratação das argilas calcinadas durante a residência nos depósitos de lixos e sua inserção na terra preta, com neoformação de caulinita (origem pedogenética da terra preta); a presença de materiais orgânicos como cauixi, principalmente, e, em parte, cariapé (este calcinado previamente, sendo portanto desidratado), com alto conteúdo de água segundo Costa *et al.* (1999); e os oxidróxidos de ferro e sua reidratação.

Torna-se explícito que a composição química dos fragmentos cerâmicos independe dos horizontes do solo (A ou B) de terra preta e também do tempero, segundo os principais componentes nos diagramas SiO_2 , Al_2O_3 e PF (Fig. 9a) e Al_2O_3 - Fe_2O_3 - P_2O_5 (Fig. 9b) que constituem as fases minerais e orgânicas dominantes. No diagrama MgO - P_2O_5 - TiO_2 (Fig. 9c), observa-se maior espalhamento da composição química, com ligeira tendência a discriminar os fragmentos com domínio do tempero cariapé. Por sua vez, os diagramas elaborados a partir dos metais alcalinos e alcalinos terrosos (Na_2O , K_2O , CaO e MgO) discriminam claramente o campo de mais altos de Na_2O (Fig. 9d, f), onde está a maioria das amostras de fragmentos e dos teores mais altos de K_2O (Fig. 9f, e).

Litoral paraense (Zona Salgado-Bragantina)

As análises químicas parciais disponíveis mostram que as cerâmicas da região de Bragança também contêm fósforo, e são as cerâmicas, até agora conhecidas, mais ricas nesse elemento. Até 9 % P_2O_5 foram determinados. Análises de DRX e MEV/SED, como as já apresentadas anteriormente, mostram que o principal fosfato é a crandallita. Este teor corresponde a quase 27 % desse mineral.

Os Contrastes Mineralógicos e Químicos das Cerâmicas Arqueológicas da Amazônia

Na produção de cerâmica, principalmente cerâmica vermelha simples, como aquelas encontradas nas TPIs da Amazônia, a matéria-prima é a clássica, argilas constituídas de caulinita e quartzo, além de um pouco de illita e/ou esmectita, quer de rochas sedimentares, quer de rochas intemperizadas, tipo saprolito, como mostram os dados aqui expostos e os já demonstrados por Costa et al (2003, 2004a, b, in prelo). Entretanto, elas se distinguem das demais pela presença de cauixi e/ou cariapé, e ainda pelos teores de fósforo normalmente acima de 1 %, e quase sempre na forma de fosfatos de alumínio amorfos ou microcristalinos. Enquanto cauixi e cariapé, que são materiais orgânicos ricos em SiO_2 e amorfos aos raios X, foram colocados intencionalmente, o fósforo não parece ter sido colocado intencionalmente como amplamente discutido por Costa et al (2003, 2004a, b, in prelo). Estes aspectos são discutidos a seguir.

Cauixi e Cariapé

O cauixi é típico dos rios de água preta e esverdeada, como o Negro e Trombetas. Esse tempero é essencialmente silicoso e amorfo aos raios X (Costa *et al.*, 2002; Gomes, 2001). Cerâmicas confeccionadas com ele são de uso diário. O cariapé é também rico em sílica e amorfo aos raios X. Cauixi e/ou cariapé são adicionados para melhorar a plasticidade da matéria-prima total.

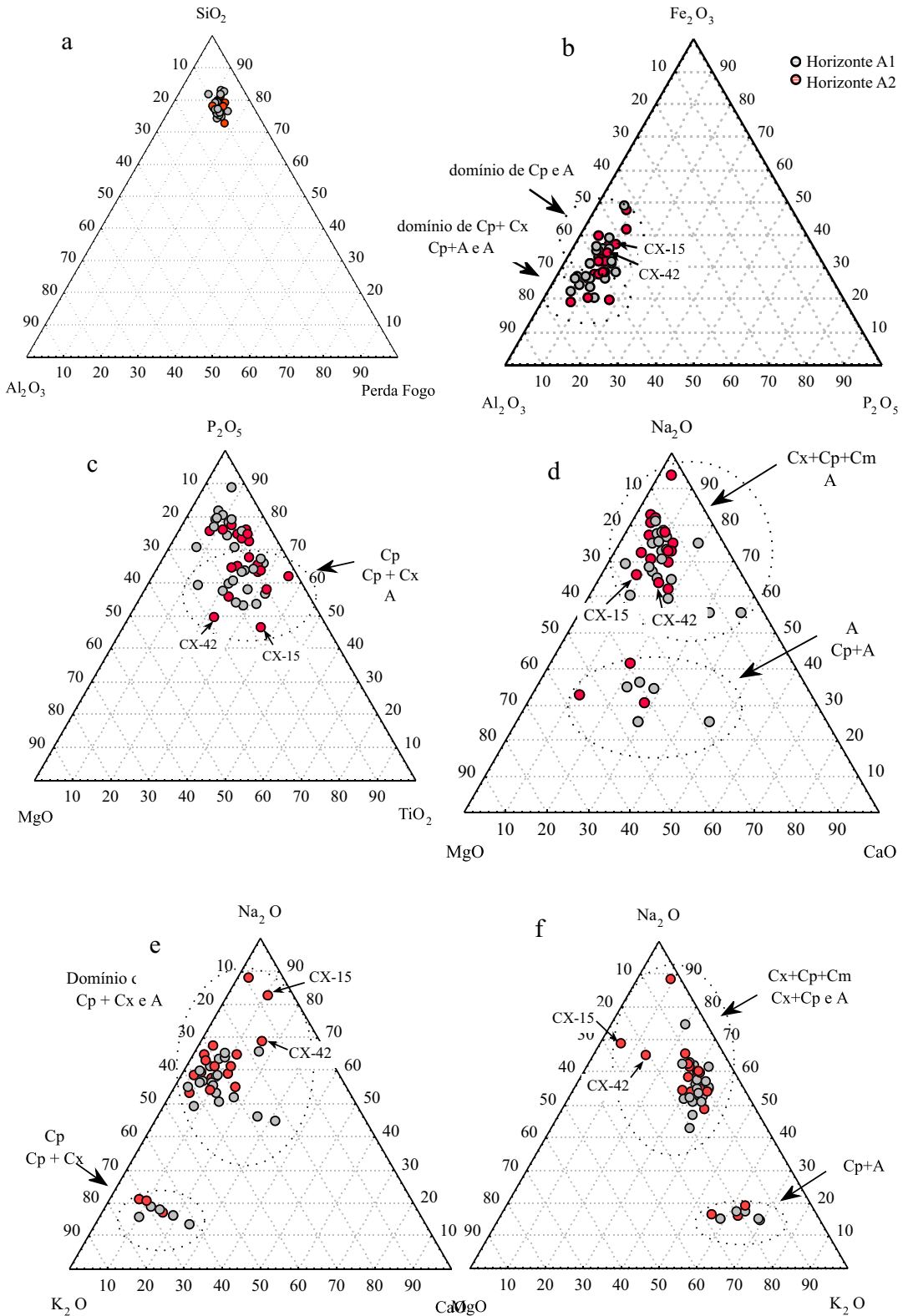


Fig. 9. Composição química das cerâmicas em diagramas ternários (A=areia, Cp= cariapé, Cx= cauxi, Cm= caco moído).

Fósforo e Fosfatos de Alumínio

Os fosfatos constituem uma classe mineral rica em espécies, dentre as quais, algumas são abundantes na crosta terrestre. Eles são minerais formados sob vários ambientes, encontrados em rochas ígneas desde ultramáficas até félsicas, nas rochas metamórficas em geral, nos veios pegmatitos e hidrotermais e ainda nas rochas sedimentares, químicas ou detriticas, e o mineral em geral é a apatita. Os fosfatos também podem ser encontrados nos solos e em lateritos, quando são representados pelos fosfatos de alumínio, Al-Fe, Al-Ca-Sr-ETR, que também se fazem presentes nos veios pegmatitos e hidrotermais.

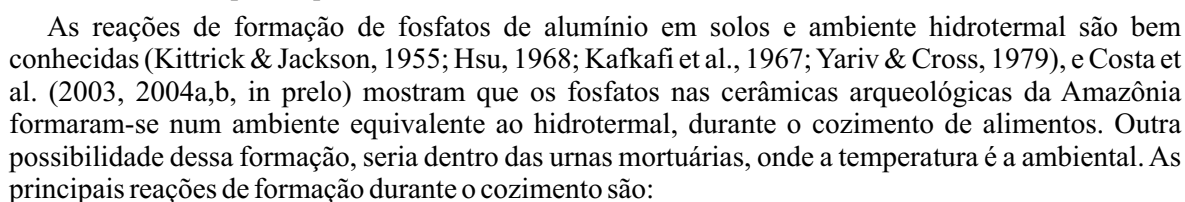
Destarte, os fosfatos originam-se preferencialmente em ambiente de baixa temperatura, do hidrotermal às condições de superfície (Kittrick & Jackson, 1955; Kafkafi et al., 1967; Hsu, 1968, Costa, 1997). Nos perfis lateríticos, os fosfatos mais comuns são crandallita-goyazita, variscita-estrengita, wardita, senegalita e wavellita (Costa, 1990). Os solos TPIs nada têm de comum com lateritos. Mas, em se admitindo a origem do fósforo a partir do cozimento de alimentos em panelas de cerâmica, aí as condições de cozimento podem ser perfeitamente comparáveis a um ambiente hidrotermal, temperatura mediana, pressão baixa e muita água quente.

Como mostrado anteriormente, um fato muito intrigante das cerâmicas arqueológicas da Amazônia são os altos teores de P_2O_5 , ocorrendo como fosfatos de alumínio, tal qual mostrados por Costa et al. (1991, 1993, 2001), Costa & Kern (1999), Latini et al. (2001), Nicoli et al. (2001) e mais recentemente por Lima et al. (2002) e Costa et al. (2004a e 2004b). Esses fosfatos devem ter sido formados nos vasos cerâmicos durante o cozimento, com o fósforo provindo dos alimentos (ossos, carnes e raízes) e o alumínio das argilas amorfas e microcristalinas utilizadas na confecção das cerâmicas. Enquanto Duma (1972) e, em parte, Bollong et al. (1993) admitem que o fósforo esteja ligado a um tipo de uso das cerâmicas, Freestone & Middleton (1985), Dunnell & Hunt, (1990), Freestone et al. (1994), entre outros, supõem que o fósforo seja oriundo da contaminação com o ambiente ao redor, ao tempo do descarte, através da adsorção do solo vizinho. Essa hipótese é perfeitamente realizável do ponto de vista geoquímico e pedogenético (Hsu, 1968; Kittrick & Jackson, 1955; Wada, 1989), no entanto não é capaz de explicar os altos valores a partir de conteúdo de fósforo em solos que, embora altos para agricultura, são muito baixos, no máximo 0,28% (normalmente entre 0.036 e 0.05%), para elevar-se até 9 % nos fragmentos cerâmicos. Além disso, não explica por que especificamente nas cerâmicas. Também o conteúdo de fósforo nestas não mostra qualquer relação com a sua distribuição no perfil de solo, que diminui drasticamente do horizonte A para AB (fósforo disponível).

A ausência de vitrificação nessas cerâmicas também mostra que fósforo não foi empregado com essa finalidade, e assim não contribui para explicar a origem dele. Elementos-traços como Zn, Mn, Cu, e (Sr, Ba), (Ca), (Mg) enriquecem-se preferencialmente no horizonte A da TPI relativo ao horizonte B ou aos latossolos adjacentes, que são os mesmos valores encontrados nas cerâmicas. Por que então apenas o fósforo teria sido adsorvido pelas cerâmicas? A dieta dos povos da Amazônia baseada no consumo de mandioca (*Manihot esculenta*), vários tipos de batatas, frutas de distintas palmeiras, assim como alimentos de origem animal, muita proteína e gordura devem ter contribuído com P, além de Ca, Ba, Mg, Mn, Ba, Zn, Pb, entre outros, encontrados tanto nas cerâmicas como nos solos TPI. O preparo de alimentos nos utensílios cerâmicos, em particular usando aquecimentos (cozimento) diários, propiciou as condições mais favoráveis à incorporação do P, limitando a maioria dos elementos por conta da estrutura do fosfato formado, variscita-estrengita.

Conclusões

Os fragmentos de cerâmicas encontrados nos sítios de TPI são um dos principais registros deixados pelos povos pré-históricos da Amazônia e podem conter muitas informações a cerca das formas de vida e dos costumes desses povos. Os primeiros estudos mineralógicos e geoquímicos parecem contribuir para esse entendimento. A sua reconstituição pelos arqueólogos mostra que eles, em geral,



Geochemical pathway of ABE - Ceramic

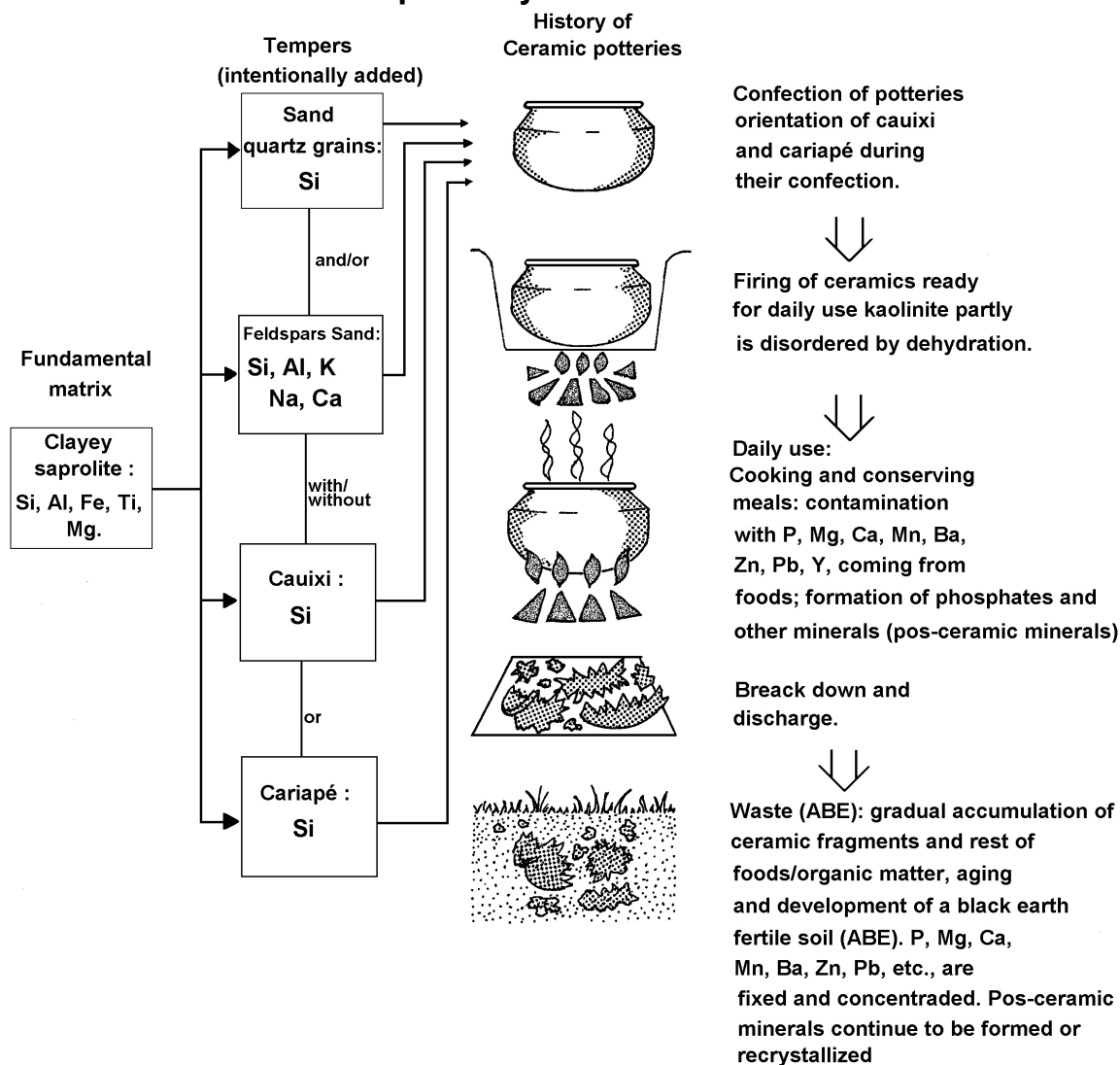


Fig. 10. Evolução mineralógica e geoquímica para as cerâmicas das TPI da Amazônia.

Os resultados aqui apresentados e discutidos mostram que, de fato, os estudos mineralógicos e geoquímicos das cerâmicas arqueológicas contribuem para mais informações a respeito dos povos que as confeccionaram e delas fizeram uso, e, ao mesmo tempo, demonstram que ainda há muito por fazer. Por exemplo, como subtrair mais informações a partir dos fosfatos, e como de fato se deu a formação destes? Será que, além do cozimento, outros processos estão envolvidos, e de fato todos os fragmentos são de vasos utilitários? Acreditamos ser possível a partir do fósforo e dos fosfatos identificar processos, costumes e transformações durante o descarte e a formação da TPI.

As características mineralógicas e texturais também mostram que os povos pré-colombianos, mesmo diante da adversidade e das grandes distâncias, pareciam trocar informações entre si, pois os vasos cerâmicos apresentam várias semelhanças nos seus materiais, isso principalmente nos últimos dois milênios. Também as correlações com os vasos cerâmicos hoje elaborados pelos indígenas e caboclos parecem demonstrar que as técnicas sobreviveram aos colonizadores e vêm perpetuando-se, pelos menos em parte.

Agradecimentos

A CBMM pelo primeiro apoio incondicional nas análises MEV/EDS e ao CNPq pelo apoio com projetos de pesquisa, de bolsa de estudos e de produtividade de pesquisa.

As Propriedades Físicas e Hídricas dos Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio na Amazônia Central

Wenceslau Gerales Teixeira
Gilvan Coimbra Martins
Rodrigo Santana Macedo
Afrânio Ferreira Neves Junior
Adônis Moreira
Vinícius de Melo Benites
Christoph Steiner

As Terras Pretas de Índio (TPI), denominadas em inglês de Amazonian Dark Earths constituem áreas que apresentam horizonte A antrópico em diversas classes de solos, estas áreas são encontradas principalmente na Amazônia. Estes horizontes apresentam características específicas tanto na parte química (veja Madari et al., Falcão et al., neste volume) quanto na parte mineralógica (ver Lima et al., Marcondes et al., neste volume). Os horizontes antrópicos das TPI também apresentam características físicas distintas dos horizontes superficiais, comumente o horizonte A incipiente ou moderado, dos solos adjacentes.

Os solos que apresentam os horizontes antrópicos típicos das TPI não têm uma classificação específica no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). Essas áreas são descritas nos levantamentos como solos que apresentam horizonte A antrópico. Na Amazônia brasileira os horizontes típicos das TPI já foram descritos compondo perfis classificados como Argissolos (Acrisols), Latossolos (Ferralsols) e menos freqüentemente na classe dos Plintossolos (Plinthosols), Neossolos Quartzarênicos (Arenosols) e Espodossolos (Spodosols) (Sombroek, 1966; Smith, 1980; Kampf & Kern, 2005; Teixeira et al., 2005; Teixeira et al., 2006; Macedo et al., 2007; Martins et al., 2007). Nas áreas de várzeas são encontrados os horizontes antrópicos comumente soterrados pela deposição de sedimentos das cheias dos rios, estas áreas com horizontes antrópicos foram classificadas como camadas (horizontes Ab antrópico enterrado) de Gleissolos (Gleisols) (Teixeira et al., 2006).

As cores escuras dos horizontes superficiais ocorrem em razão da elevada concentração de carbono total e elevada concentração de carbono de origem pirogênica (ver Cunha et al, neste volume, Glaser, 2008). Um dos mecanismos mais discutidos na estabilização do carbono das TPI é pelo uso do fogo, que promoveu a conversão de parte da biomassa orgânica em formas recalcitrantes (carvão vegetal black carbon). Estas formas de carbono de origem pirogênica são mais estáveis à degradação e de alto poder pigmentante, adicionalmente podem apresentar uma elevada densidade de cargas negativas, que confere a estes horizontes uma elevada capacidade de troca de cátions (CTC) (Liang et al., 2006). As descrições da maioria dos perfis descritos com a presença de horizontes antrópicos típicos das TPI, na classificação de cores segundo os critérios das Cartas de Cores de Munsell, mostra geralmente predominância de valores (brilho ou tonalidade) e croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza) baixos, normalmente ao redor do valor três (Fig. 1). Entretanto há ocorrência de valores e cromas mais altos, provavelmente indicando áreas com menor quantidade de carbono pirogênico, áreas com tempo de habitação ou os campos de agricultura das populações pré-Colombianas, denominados estes, por Sombroek (1965), de Terras Mulatas.

Muitos dos horizontes antrópicos das TPI apresentam também grande quantidade de artefatos cerâmicos arqueológicos (Petersen et al., 2001). A elevada concentração destes artefatos cerâmicos em alguns locais das TPI condicionam características físicas e hídricas específicas nestes locais. Num estudo realizado para verificar o efeito da concentração de fragmentos cerâmicos na disponibilidade de água (Macedo et al., 2008) foi verificado que em solos cujas partículas predominantes na matriz são da fração areia (mais arenosos), uma elevada concentração de fragmentos cerâmicos pode aumentar a

retenção de água em potenciais elevados (menores que pF 3,0). Os poros existentes nas cerâmicas podem ser preenchidos de água nos períodos de chuva e com o secamento do solo esta água por diferença de potencial vai para a matriz do solo.

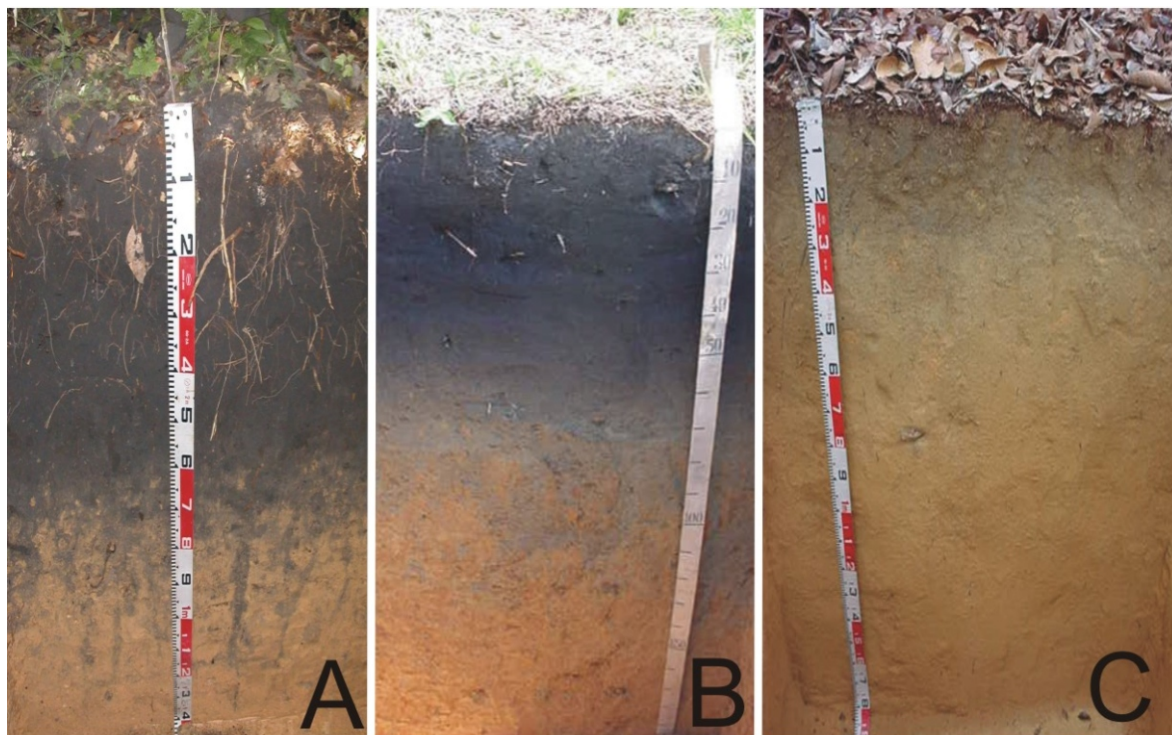


Fig. 1. Fotos de perfis de solo com a presença de horizontes A antrópicos, TPI próxima ao rio Urubu (A) e próxima ao rio Preto da Eva (B), em comparação com o horizontes A incipiente típico dos Latossolos Amarelos (C), classe de solo dominante na Amazônia Central.

As TPI são cultivadas na região por pequenos agricultores, principalmente na forma de agricultura de subsistência, no sistema de agricultura itinerante de corte e queima. A maior diferença no uso da terra nas TPI, em comparação com os Latossolos ou Argissolos adjacentes, refere-se à produtividade de alguns cultivos, como o mamão, milho, melancia, feijão (*haseolus vulgaris*) e hortaliças, que são cultivados com produções satisfatórias nestas áreas, com ausência ou um baixo uso de insumos (Fig. 4) o que não ocorre nos solos adjacentes. O tempo de pousio é reduzido nas áreas de TPI, em comparação com as outras classes de solo na Amazônia (German et al., 2003; Junqueira, 2008). O uso de pousio em solos férteis evidencia que esta prática não é necessária apenas devido a uma depleção dos nutrientes disponíveis no solo. As TPI apresentam níveis elevados da maioria dos nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, muito superiores aos níveis críticos para a maioria das plantas cultivadas na Amazônia, mesmo após longos períodos de cultivo. O pousio nas TPI é motivado pela dificuldade do controle de plantas invasoras e provavelmente devido a uma degradação da estrutura do solo. A queda da produtividade destas áreas em uso contínuo é denominada pelos agricultores de "áreas com solo cansado". O uso intensivo por mais de 30 anos, com utilização de mecanização tratorizada numa área de TPI, na Estação Experimental do Caldeirão Embrapa Amazônia Ocidental (Fig. 2) mostra a elevada resiliência das áreas de TPI em relação à degradação química e física (Teixeira et al., 2003).



Fig. 2. Cultivos sucessivos em Terra Preta de Índio na Estação Experimental do Caldeirão Embrapa Amazônia Ocidental Manaus AM

Características Físicas e Hídricas das TPI

A Tabela 1 mostra que o horizonte antrópico das TPI, apesar de normalmente apresentar a fração areia em maior percentual que o provável solo original, apresenta grande variação entre os sítios de TPI, apresentando em algumas localidades textura argilosa e mesmo muito argilosa. Esta grande variação da distribuição granulométrica entre os horizontes antrópicos de diferentes locais, torna complexa a comparação de valores e a caracterização das TPI como uma classe de solo.

A predominância da textura mais arenosa, em relação à textura predominante no horizonte original antes da inferência antrópica parece estar relacionada ao uso intenso do fogo e da disponibilidade de material orgânico, estes quando combinados originam partículas organo-minerais bastante estáveis do tamanho da fração areia (Fig. 3). O efeito do fogo no aumento do percentual das frações areias foi estudado por Ulery et al., (1996), Ketterings & Bigham (2000) e Teixeira & Martins (2003). A Figura 2 ilustra a fração areia de uma amostra de TPI, nela se verifica a ocorrência de partículas de carvão e de pequenos agregados. Ressalta-se que esta amostra foi submetida a tratamento com peróxido de hidrogênio, com dispersão mecânica (agitador mecânico de alta velocidade) e dispersão química (hidróxido de sódio). Isto evidencia a baixa eficiência do peróxido de hidrogênio em eliminar resíduos de carvão e a alta resistência destes microagregados (entre 2 e 0,05 mm). A maior dispersão, destruição e remoção das partículas de argila nos horizontes antrópicos das TPI certamente contribui também para o aumento percentual da fração areia.

Um aspecto interessante e ainda pouco pesquisado nas TPI é sua elevada coesão quando seca. Neves Júnior (2008) mostrou que quando do secamento, em alguns horizontes antrópicos, pode ocorrer inicialmente uma limitação do crescimento das raízes pela elevada resistência mecânica a penetração (alta coesão), esta limitação ao crescimento vegetal pode ocorrer antes da limitação por falta de água disponível. Este fenômeno pode estar relacionado com o mito de que “mandioca não se desenvolve bem em solos de terra preta”. A elevada coesão no período de seca certamente trará problemas para o desenvolvimento dos tubérculos e para o arranquio na colheita, entretanto há vários relatos de plantios de mandioca com bom desenvolvimento em TPI e nas denominadas Terras Mulatas (Junqueira, 2008).

Tabela 1. Distribuição de partículas e matéria orgânica dos horizontes superficiais de Terra Preta de Índio na Amazônia Central.

| Localização | Solo adjacente | Sistema de uso da Terra | g kg ⁻¹ | | | Carbono orgânico g kg ⁻¹ % | Referência |
|--|----------------|-------------------------|--------------------|-------|--------|---------------------------------------|--------------------------|
| | | | Areia | Silte | Argila | | |
| Rod. Cacau Pirera – Manacapuru, km 4 | Espodossolo | Campina | 960 | 30 | 10 | 7,6 | Smith, 1980 |
| Estrada da Ponta Negra km 8 – Manaus | Espodossolo | Campinarana | 860 | 70 | 70 | 20,9 | Smith, 1980 |
| Lago de Madrubá, Itapiranga | Espodossolo | Gramíneas Pastagem | 860 | 30 | 110 | 4,5 | Smith, 1980 |
| Rio Tarumã, Manaus | Argissolo | Pastagem | 830 | 50 | 120 | 11,1 | Smith, 1980 |
| Lago da Valéria, Parintins | Argissolo | Capoeira | 750 | 109 | 141 | 28,7 | Teixeira et al. 1980 |
| Rod. Cacau Pirera – Manacapuru, km 4 | Argissolo | Campinarana | 800 | 50 | 150 | 12,5 | Smith, 1980 |
| Açutuba, Iranduba | Argissolo | Área cultivada | 773 | 71 | 156 | 26,2 | Teixeira e Martins, 2003 |
| Tapurucuara, Rio Negro | Argissolo | Gramíneas | 650 | 190 | 160 | 27,0 | Smith, 1980 |
| Fazenda Jiquitaia, Rio Preto da Eva | Argissolo | Cultivado | 751 | 64 | 185 | 9,9 | Teixeira et al., 1980 |
| Itacoatiara, Rio Amazonas | Latossolo | Gramíneas | 400 | 350 | 250 | 16,5 | Smith, 1980 |
| Costa do Laranjal, Manacapuru | Latossolo | Quintal | 570 | 144 | 286 | 37,0 | Teixeira e Martins, 2003 |
| Açutuba, Manacapuru | Argissolo | Capoeira | 528 | 124 | 348 | 9,3 | Teixeira e Martins, 2003 |
| Lago do Batista, Itacoatiara | Latossolo | Cacau | 100 | 550 | 350 | 25,0 | Teixeira e Martins, 2003 |
| Ramal da Terra Preta - Manacapuru - AM | Latossolo | Olerícolas | 480 | 150 | 370 | 23,3 | Silva et al. 1970 |
| Costa do Laranjal, Manacapuru | Argissolo | Capoeira | 484 | 77 | 439 | 23,0 | Teixeira e Martins, 2003 |
| Manaus, Ponta das Lajes | Latossolo | Capoeira | 190 | 360 | 450 | 47,0 | Teixeira e Martins, 2003 |
| Lago da Terra Preta, Itacoatiara | Latossolo | Milharal | 80 | 440 | 480 | 35,0 | Smith, 1980 |
| Terra Nova, Itapiranga | Latossolo | Capoeira | 220 | 300 | 480 | 31,1 | Smith, 1980 |



Fig. 3. Detalhe da fração areia de uma amostra de Terra Preta de Índio, mostrando fragmentos de carvão e microagregados.

Densidade do solo

As TPIs apresentam valores de densidade do solo melhor correlacionada com a distribuição granulométrica das partículas do que com os teores de matéria orgânica. Horizontes antrópicos como os das TPIs localizadas as margens do rio Tapajós e na localidade da Costa do Açutuba no Município de Iranduba apresentam elevados valores de densidade valores maiores que 1300 1400 Mg m⁻³. Valores de densidade nesta faixa são indicativos de compactação para os Latossolos Amarelos textura argilosa e muito argilosa da Amazônia Central. A grande variação de ocorrências de horizontes antrópicos desenvolvidos em diferentes materiais de origem limita a comparação de valores e a caracterização das TPI como uma classe de solo. A amostragem dos horizontes antrópicos das TPI devido à elevada presença de fragmentos cerâmicos dificulta e envies a os resultados de densidade do solo, coletados tanto por cilindros como por torrão, pois o solo numa escala maior apresenta cerâmicas com densidade menor que a matriz do solo.

Retenção de Umidade no Solo

O conteúdo de água no solo (θ), a temperatura (T), a porosidade de aeração (PA) e a resistência do solo à penetração de raízes (RP) são os fatores que afetam diretamente o crescimento de plantas (Letey, 1985). Embora todos os fatores mereçam igual atenção, a água é a variável mais intensamente estudada. A variação da umidade pode reduzir o crescimento de plantas, através da redução da PA (excesso de água) ou por valores elevados de RP (escassez de água). Além dos efeitos na PA e na RP , a variação no θ pode afetar a temperatura do solo. Em condições de umidade adequada, a temperatura do solo tende a oscilar pouco. Ao contrário do que acontece em solos com deficiência de água, onde a temperatura pode atingir valores críticos ao desenvolvimento de raízes e à germinação de plantas.

O θ adequado para o crescimento de plantas varia de acordo com a espécie, estágio de crescimento e desenvolvimento da planta. O solo tem uma capacidade limitada para armazenar água e apenas uma parte de toda água armazenada está disponível às plantas. A disponibilidade de água às plantas está

diretamente relacionada ao estado de energia da água no solo, conhecida como energia potencial ou potencial (ψ). O ψ é quem determina o movimento da água no solo. Através do conhecimento do ψ em diferentes localidades do solo, pode-se determinar o movimento da água pela diferença entre os mesmos. A relação entre θ e o ψ é conhecida como curva de retenção da água no solo (CRA). A CRA é utilizada como indicador direto e indireto do comportamento de outras propriedades do solo, tais como a drenagem, aeração, infiltração, padrão do sistema radicular, distribuição do tamanho de poros e índices de qualidade física do solo.

Classificação da Água no Solo

A água no solo pode ser classificada como gravitacional, capilar e higroscópica. Após um evento chuvoso ou irrigação prolongada, a água que infiltrou pode preencher todo o espaço poroso do solo, fazendo com que o solo atinja a condição de saturação (θ_s , 0 kPa). Com o solo saturado, e havendo condições adequadas de drenagem, a água presente nos macroporos (poros > 0.03 mm) drena livremente até um ponto em que as forças de adesão (água x partículas do solo) voltem a atuar. Ao cessar o fluxo gravitacional, o solo possui um novo θ , correspondente à capacidade de campo (θ_{cc} 10 kPa). O θ entre a saturação e θ_{cc} corresponde à água gravitacional, esse θ não está disponível às plantas, pois é drenado rapidamente, não havendo tempo de ser absorvido pelas plantas. Na θ_{cc} a PA geralmente é adequada para os microrganismos aeróbios e para o crescimento da maioria das plantas.

O θ retido na θ_{cc} pode deixar o solo através da evaporação ou absorvido pelas plantas. Dessa forma, o θ pode ser reduzido a pequenos filmes de água com elevado estado de energia potencial e com elevada força de adesão da água com as superfícies sólidas. Nesse estado, as plantas não conseguem absorver a água na mesma velocidade que ocorrem as perdas por transpiração. Como consequência da perda excessiva de água, as plantas murcham durante o dia para conservar água. Se as plantas não retornarem ao seu estado normal (turgescência) quando as condições de umidade no solo forem adequadas (atmosfera saturada), então as plantas atingiram o ponto de murcha permanente (θ_{pmp} 1500 kPa). O θ retido entre a θ_{cc} e θ_{pmp} é conhecido como água disponível (AD). Após o θ_{pmp} , a água remanescente no solo, não disponível às plantas, é retida firmemente às partículas do solo. Nesse estado, teoricamente, a água encontra-se em filmes de aproximadamente 4 a 5 moléculas de espessura que se movem apenas na fase de vapor. O θ neste ponto é conhecido como coeficiente higroscópico.

O θ na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente e a quantidade de água disponível varia entre solos, principalmente devido à composição granulométrica, mineralogia, teor de matéria orgânica e estrutura do solo. O conceito de água disponível é bastante utilizado no manejo de solos. Entretanto, o crescimento de plantas pode ser restringido pela RP e PA, mesmo que o solo esteja dentro da faixa de disponibilidade de água ($\theta_{cc} - \theta_{pmp}$). Nesse contexto, o manejo do solo deve levar em consideração os fatores que afetam diretamente o crescimento das plantas, utilizando índices que integrem tais fatores. O Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), proposto por Silva et al. (1994), é um índice de qualidade física do solo que integra em uma única variável os fatores que afetam diretamente o crescimento de plantas. Neves Junior, 2008, estudou este intervalo para duas áreas com horizontes antrópicos.

A retenção de água nos Horizontes Antrópicos (Terra Preta de Índio - TPI)

Nos horizontes antrópicos de uma TPI foram encontrados teores do θ_{cc} mais elevados quando comparados aos teores obtidos nos solos adjacentes (Neves Junior, 2008; Neves Junior et al. 2008). Os valores médios encontrados nas TPI foram $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na TPI Latossolo e $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na TPI Argissolo, enquanto que os valores médios encontrados nos solos adjacentes foram $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no Latossolo e $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no Argissolo. O conteúdo de argila variou entre 170 e 240 g kg^{-1} nos solos adjacentes e entre

240 e 390 g kg⁻¹ nas TPI. A drenagem da água neste ponto da CRA está relacionada à porosidade estrutural do solo, sem grande contribuição da composição mineralógica. Assim, a retenção de água depende principalmente do efeito da capilaridade e da distribuição do tamanho de poros, afetados pela estrutura do solo (Hillel, 1998). Marques et al., (2004) encontrou teores de $\theta_{cc} = 0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em um Latossolo de textura argilosa (590 g kg⁻¹). O efeito da maior retenção de água nos horizontes antrópicos é comparável apenas em solos de composição granulométrica semelhante, em caso de solos com maiores teores o efeito parece ser mais efetivo na retenção de água, provavelmente grande parte indisponível para plantas (água adsorvida ou higroscópica nas partículas de argila).

A retenção de umidade nos horizontes antrópicos TPI também é mais bem relacionada com a faixa granulométrica predominante do que com a presença de elevados teores de carbono. A Tabela 2 mostra a retenção de água de amostras de uma TPI localizada na Estação Experimental da Embrapa - Caldeirão (Iranduba - AM). A maior retenção de água é verificada nos horizontes mais profundos abaixo dos horizontes antrópicos, caracterizados na Tabela 2 com A_{p1} e A_{p2}. O aumento da retenção de água é causado principalmente pelo aumento dos teores de argila em profundidade superando o aumento da retenção proporcionada pelos maiores teores de carbono na superfície.

Tabela 2. Retenção de água em amostras em diferentes horizontes de solo num perfil de Terra Preta de Índio da Estação Experimental do Caldeirão (Iranduba- AM).

| Horizonte - Espessura cm | Tensão em pF (log ₁₀ cm H ₂ O) | | | | | |
|-----------------------------|--|------|--------|--------|--------|------|
| | pF 0 | pF 1 | pF 1.5 | pF 1.8 | pF 2.5 | pF 3 |
| Ap1 - 0 - 29 | 0,44 | 0,41 | 0,37 | 0,33 | 0,21 | 0,20 |
| Ap2 - 29 - 50 | 0,42 | 0,37 | 0,30 | 0,26 | 0,19 | 0,18 |
| AB - 50 - 75 | 0,46 | 0,40 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,23 |
| BA - 75 - 100 | 0,47 | 0,41 | 0,37 | 0,34 | 0,30 | 0,30 |
| Bt - 100 - 150+ | 0,48 | 0,43 | 0,40 | 0,38 | 0,33 | 0,32 |

pF = unidade de pressão equivalente ao logaritmo da tensão em centímetros de coluna de água.

Ap horizontes antrópicos.

As TPI exibiram teores mais elevados do θ_{PMP} (Neves Junior, 2008; Neves Junior et al., 2008). Os valores médios θ_{PMP} nas TPI foram 0,23 m³ m⁻³, sendo no horizonte TPI do Latossolo e 0,17 m³ m⁻³ e no horizonte TPI do Argissolo enquanto os valores médios encontrados nos solos adjacentes foram 0,16 m³ m⁻³ no Latossolo e 0,11 m³ m⁻³ no Argissolo. A retenção de água nesse ponto da curva de retenção depende da composição granulométrica, mineralogia e das propriedades da matéria orgânica do solo (Hillel, 1998). Os teores elevados do θ_{PMP} refletem a contribuição da matéria orgânica na retenção de água, devido ao aumento da área superficial das partículas de solo envolvidas pela matéria orgânica. Assim, com a elevação do θ_{PMP} diminui a AD, tornando-a muito próxima aos teores de AD encontrados nos solos adjacentes.

As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, encontradas hoje em dia nas TPI devem-se à combinação da pedogênese com a atividade antrópica. Os dados das propriedades do solo encontradas nas TPI geralmente são comparados aos valores encontrados nos solos adjacentes, dessa forma, os solos adjacentes desempenham um papel de testemunha (referência) nos estudos. Nesse contexto, deve-se ressaltar que grande parte dos solos adjacentes pertence à classe dos Latossolos e Argissolos, uma vez que a maioria das TPI da Amazônia são Latossolos, Argissolos e Cambissolos com horizonte A antrópico (Lima et al., 2002). Assim, do ponto de vista da fertilidade química, as TPI apresentam um grande aporte nutricional e potencial produtivo quando comparadas aos solos adjacentes, que em sua grande maioria são solos de baixa fertilidade natural e acidez elevada (Vieira, 1975; Sanchez e Cochrane, 1980).

Em relação às propriedades físicas do solo, as TPI nem sempre exibem propriedades superiores às encontradas nos solos adjacentes, uma vez que os solos adjacentes (Latossolos e Argissolos), na sua grande maioria, exibem condições físicas adequadas para o crescimento de plantas.

Estabilidade de Agregados

A análise dos agregados de solo estáveis em água é obtida por tamisamento úmido, em um dispositivo vertical onde um conjunto de peneiras de diferentes malhas oscila dentro de recipiente com água (Kemper & Rosenau, 1986). Para comparação da estabilidade de agregados coletados em diferentes sistemas de uso ou locais é calculado o diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) e a porcentagem de agregados maiores que 2 mm.

A Tabela 3 mostra a estabilidade de agregados coletados em diferentes horizontes antrópicos e seu respectivo teor de carbono. Os dados não mostram uma relação clara entre o aumento do teor de carbono e a estabilidade de agregados nos horizontes antrópicos das TPI.

Tabela 3. Diâmetro médio geométrico dos agregados de solo estáveis em água e teores de carbono de amostras de horizonte antrópicos (Terras Pretas de Índio) do Estado do Amazonas Brasil.

| Localidade Uso atual | DMG (mm) Média \pm desvio padrão | C (g kg ⁻¹) |
|---|---------------------------------------|-------------------------|
| Irاندوبا – Culturas anuais | 0,47 \pm 0,11 | 20,94 |
| Rio Preto da Eva - Capoeira | 0,91 \pm 0,16 | 26,33 |
| Rio Preto da Eva - Quintal | 1,14 \pm 0,25 | 32,40 |
| Rio Preto da Eva - Capoeira | 1,30 \pm 0,40 | 12,22 |
| Rio Preto da Eva - Mandiococal | 1,35 \pm 0,96 | 39,08 |
| Parintins (Caburi) - Capoeira | 1,36 \pm 0,83 | 59,86 |
| Itapiranga – Quintal | 1,70 \pm 0,65 | 28,90 |
| Rio Preto da Eva – Quintal | 1,72 \pm 0,88 | 28,56 |
| Urucurituba - Bananal | 2,00 \pm 0,53 | 79,16 |
| Itapiranga – Capoeira | 2,00 \pm 0,97 | 16,44 |
| Rio Preto da Eva (Rio Urubu) – Pastagem | 2,53 \pm 0,61 | 42,22 |
| Itapiranga – Plantio de tomate | 2,70 \pm 0,97 | 70,30 |
| Parintins - Pastagem | 2,89 \pm 0,49 | 42,13 |
| Itapiranga - Palmeiras | 3,22 \pm 0,73 | 57,36 |
| Itapiranga – Abacaxizal | 3,38 \pm 0,35 | 42,46 |
| Irاندوبا (Costa do Açutuba) – Limão | 4,81 \pm 0,19 | 10,81 |
| Irاندوبا (Costa do Açutuba) - Mamoal | 5,17 \pm 0,32 | 9,66 |
| Irاندوبا (Costa do Açutuba) - Bananal | 5,39 \pm 0,11 | 24,43 |
| Irاندوبا (Costa do Açutuba) – Capoeira | 5,57 \pm 0,03 | 32,99 |

A Tabela 4 mostra o resultado da avaliação da estabilidade de agregados em água, em amostras coletadas nos horizontes antrópicos de uma TPI submetida a cultivos anuais intensivos em comparação com uma área de TPI em pousio (Estação Experimental do Caldeirão Irاندوبا - AM). Esta área abrange uma área aproximada de dezessete hectares de TPI, estando atualmente um terço desta área sob pousio, coberta por uma capoeira de aproximadamente 20 anos, sendo o restante utilizado como campo de multiplicação de sementes há mais de 30 anos. O preparo do solo é realizado anualmente com rotavator. Esta área foi classificada como Argissolo Amarelo Tb Eutrófico (Embrapa, 1991). Nesta área há locais onde a coloração do solo e o os teores de carbono orgânico e fósforo trocável (Extrator Melich I) são menores, neste estudo foi denominada de Terra Mulata (TM), ambas têm a mesma utilização agrícola. Amostras de solo indeformadas para análises de agregados foram coletadas na profundidade de 0 - 20 cm, nas áreas de TPI sob capoeira, na TPI cultivada e na Terra Mulata cultivada (TM).

Tabela 4.. Média e desvio padrão do Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e da porcentagem de agregados retidos na peneira de 2 mm em amostras de horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio e Terra Mulata) da Estação Experimental do Caldeirão, Iranduba - AM, sob diferentes usos da terra.

| | DMG (mm) | (%) agregados > 2mm |
|--------------------------------|--------------|---------------------|
| Terra Preta – Capoeira | 1,3 +0,40 a | 59,9 + 9,1 a |
| Terra Preta – Cultivos anuais | 0,5 + 0,14 b | 15,1 + 10,5 b |
| Terra Mulata – Cultivos anuais | 0,4 + 0,11 b | 10,0 + 9,1 b |

Médias seguidas da mesma letra, dentro das colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 4 mostra que o DMG nas áreas cultivadas foi significativamente menor que na área sob pousio, provavelmente por terem sido pulverizados pelos implementos agrícolas no preparo do terreno. O atributo porcentagem de agregados maiores que dois milímetros também mostra a mesma tendência do DMG. As áreas cultivadas de TPI e TM não apresentam diferenças entre si. Em uma comparação dos valores do DMG de amostras de solos de diferentes sistemas de uso da Terra na Amazônia feito por Teixeira & Martins (2003) evidenciou o reduzido DMG da área de TPI. O reduzido tamanho dos agregados na TPI pode ser uma consequência do uso intensivo do fogo, de forma intencional ou não como uma prática de manejo do solo pelas populações pré-colombianas. O intenso uso do fogo nas TPI é evidenciado pela elevada presença de carvão vegetal (Sombroek, 1966; Silva et al., 1970) e carbono pirogênico (Glaser, 1999). A tendência de redução dos agregados pelo uso do fogo é corroborada quando se verifica os menores valores do DMG nas áreas recentemente queimadas em Latossolo Amarelo em relação às áreas não queimada - Tabela 5 - (Teixeira & Martins, 2003).

Ressalta-se que apesar dos menores valores de DMG nas áreas cultivadas de TPI e TM em relação à área sob pousio, que pode ser interpretada como uma deterioração da qualidade física do solo, estas áreas ainda se mantêm mais produtivas que os Latossolos e Argissolos adjacentes, mesmo que nestes os cultivos não sejam feitos de forma contínua. É provável que solos de outras classes ocorrentes na Amazônia se submetidos a uso tão intensivo, quanto esta área de TPI, estariam totalmente improdutivos e degradados. A elevada fertilidade e a sustentabilidade desses solos, quando cultivados, incitam esforços para a compreensão da sua gênese e os mecanismos da sua estabilidade que apresentam grande resiliência mantendo suas boas qualidades químicas (elevada fertilidade e elevados estoques de carbono) e físicas mesmo com o uso intensivo. A possibilidade de entender os mecanismos de gênese e replicar estas áreas poderá aumentar o tempo de uso das terras e reduzir a pressão de desmatamento sobre áreas de vegetação primária. Uma vez conhecidos os processos e mecanismos de formação das TPI, esses podem ser utilizados na recuperação de solos degradados, reincorporando áreas abandonadas ao processo produtivo. Além disso, dado que os estoques de carbono nas TPI são significativamente mais elevados que nos solos adjacentes, o conhecimento dos mecanismos que levaram ao aumento dos teores de carbono no solo poderá ter como consequência a introdução de práticas de manejo que reduzam a emissão e promovam o aumento do sequestro de carbono, contribuindo, assim, para a redução do carbono na atmosfera.

Parte III

Terra Preta Nova

Terra Preta e Terra Mulata: Suas Potencialidades Agrícolas, suas Sustentabilidades e suas Reproduções

Wim Sombroek
Dirse Kern
Tarcísio Rodrigues
Manoel da Silva Cravo
Tony Jarbas F. Cunha
William Woods
Bruno Glaser

As Terras Pretas Antropogênicas ocorrem freqüentemente na Região Amazônica, especialmente na parte brasileira. São localmente conhecidas como Terra Preta, Terra Preta-de-Índio, ou Terra Preta Arqueológica/Antrópica, e são o efeito remanescente da ocupação intensiva da terra por grupos indígenas Pré-colombianos. Esses solos foram mencionados e descritos por arqueólogos e antropólogos (Denevan 1992; Whitehead, 1996; Petersen et al, 2001), como também por ecologistas, agrônomos e por cientistas do solo (Sombroek, 1966; Smith 1980; Moran, 1990; Kern & Kämpf, 1989, Pabst, 1993, Costa & Kern, 1999, Glaser, 1999; McCann et al., 2000; Mann, 2000; Cleary, 2001; Kern et al, 2001). Há também duas páginas sobre o assunto na Internet (Web sites), uma na Alemanha (inglês): www.geo.uni-bayreuth.de/bodenkunde/terrapreta/index.html, e outra no Brasil (português): www.museu-goeldi.br/pesquisa/ecologia/tpa/paginas_imagens/tpaindex.htm

Os solos Terra Preta apresentam muito material arqueológico (fragmentos cerâmicos, lítico, além do carvão vegetal). Esses solos são pretos ou bruno muito escuro até uma profundidade de pelo menos 50 cm, em média; apresentam teores elevados de P disponível (acima de 100 mg.dm⁻³) e são menos ácidos que os solos circunvizinhos.

Hoje em dia esses solos são procurados preferencialmente para a agricultura de subsistência, por comunidades tradicionais de pequenos agricultores que os reconhecem facilmente, mesmo sob densa cobertura florestal, devido aos diferentes grupos de espécies arbóreas que ocorrem nesses locais. Esses solos ocupam geralmente pequenas áreas, em média com 20ha, porém áreas com 300 - 500ha também foram relatadas, especialmente em terrenos de terra firme, nas vizinhanças das confluências dos principais rios: Rio Negro - Rio Solimões próximo de Manaus, Rio Madeira - Rio Amazonas próximo de Itacoatiara, Rio Tapajós - Rio Amazonas próximo de Santarém e, na Ilha de Marajó no delta do sistema Amazonas - Tocantins. Pequenas manchas de solos Terra Preta também são encontradas em áreas altas das cabeceiras e ao longo dos principais tributários do Amazonas, bem como nas margens dos igarapés que os alimentam; os vilarejos do alto Xingu (Heckenberger et al, 1999) e áreas ao longo de antigas trilhas de floresta entre sistemas (bacias) de rios (McCann, 1999) são exemplos dessa ocorrência. Outrossim na região sudeste do Amazonas e nordeste de Rondônia, pesquisas geopedológicas recentes, para zoneamento ecológico-econômico, fizeram estimativas dos locais de ocorrência de TP a cada 5 quilômetros, ao longo dos igarapés, e em uma cobertura espacial total de 1 por 2 km² (comunicação verbal de Horbe, CPRM; Jarbas & Rodrigues, Embrapa-Solos e Josuel Ravoni da Sedam). Os solos de Terra Preta também ocorrem em partes da Amazônia Colombiana (área

de Araracuara: Andrade, 1986; Eden et al, 1984; Mora, 1999), ao sul da Venezuela e Peru, mas, aparentemente, são menos frequentes nessas áreas.

Arqueologicamente são distinguidas diversas e diferentes fases cerâmicas, associadas com antigos grupos indígenas (Hilbert, 1968); a maioria delas tendo seu pico de desenvolvimento cultural entre 500 e 1500 AD. Grande parte dos pesquisadores estima que a população total de índios na Amazônia teria sido entre 5 e 10 milhões no período das conquistas espanhola e portuguesa (Roosevelt, 1996; Denevan, 1998; Petersen et al, 2001), logo sendo dizimada, com os remanescentes tornando-se nômades (Cleary, 2001).

Em várias situações as manchas de Terra Preta são cercadas por uma ampla faixa de solos de Terra Mulata. Esses solos apresentam coloração bruno acinzentado escuro, em vez de preto, em seus horizontes superiores; apresentam teores menos elevados de P; nenhum ou muito pouco material arqueológico (fragmentos de cerâmica e de material lítico), mas ainda possuem elevados níveis da matéria orgânica, quando comparados com os solos intactos da floresta. Eles foram descritos por Sombroek (1966) na área de Belterra ao sul de Santarém; por Woods & McCann (1999) na região de Arapiuns a oeste de Santarém; por Kern (1996) na área de Caxiuanã, região leste do baixo Xingu; por Horbe (comunicação verbal) ao longo do Rio Juma, 100 quilômetros ao norte de Apuí na Transamazônica e por Tony Jarbas F. Cunha no Município de Humaitá no Rio Madeira.

Esses autores consideram tais áreas como áreas agrícolas Pré-Colombianas, em torno das principais aldeias indígenas pretéritas, nos locais das lixeiras de cozinha ou no local de assentamento da aldeia, que são os locais de Terra Preta propriamente dita, e os solos inalterados das florestas, onde somente ocorreu compostagem para agricultura. Visto que o aumento de matéria orgânica no solo e a fertilidade mineral nos assentamentos podem ter ocorrido casualmente, as áreas de Terra Mulata seriam resultado da aplicação intencional de resíduos humanos ou animais, da adubação verde com materiais da floresta ou do rio, do carvão vegetal e das cinzas, dos restos de produtos da pesca e da caça e do cálcio das conchas de moluscos consumidos ou do crescimento de raízes (Roosmalen, comunicação pessoal). Isso permitiria um tipo de horticultura semipermanente para produção de alimentos, uma vez que uma parte da floresta teria sido desmatada com machados de pedra, com subsequente queima da vegetação.

Ambos os solos, Terra Preta e Terra Mulata, são cercados por solos naturais sob a floresta primária, onde a maior parte da matéria orgânica está concentrada nos 20 cm superiores. Podem ser Ferralsols (principalmente xanthic, às vezes orthic ou rhodic); Acrisols ou outros, de textura arenosa à argilosa, com pedregosidade variável e, quase sempre, com elevados teores de alumínio trocável (pH 4,5 ou mais baixo). Atualmente acredita-se que as TPs e as TMs não são resultantes de fatores naturais de formação do solo, ou seja, formadas a partir do material de origem rico em nutrientes. Esses solos seriam o efeito final das influências antropogênicas sobre os solos naturais da floresta, que aconteceram por estarem localizados em pontos estratégicos nas margens de rios, em trilhas florestais entre comunidades indígenas, entre outros. Essa teoria pode ser reforçada pelo fato de os subsolos mais profundos da TP e da TM possuírem a mesma mineralogia da argila, cor, textura e estrutura dos solos naturais adjacentes.

Características e Critérios de Classificação

Características

Uma base de dados geográfica de todos os locais onde os solos de Terra Preta e Terra Mulata foram identificados está sendo compilada. Essa base é acompanhada por descrições relevantes do local e do perfil do solo, dados analíticos e diversas seqüências de monolitos de solos representativos. Deve-se esperar que haja uma variação substancial em características detalhadas de ambos os tipos de solo, em relação ao solo original. Essas variações são decorrentes do tempo de ocupação pré-colombiana, do uso preciso da terra e das práticas de manejo utilizadas pelos diversos grupos indígenas e do tipo de água do rio mais próximo. Este, em particular, deve ter causado as diferenças mais marcantes. Os

recursos vegetais e animais de rios de águas claras (sem carga de sedimento, mas com pH neutro e presença de cálcio: água clara ou água azul) são diferentes dos de rios de águas barrentas (com uma carga apreciável de sedimentos e uma variedade de cátions: água branca ou barrenta), ou de águas pretas (sem sedimentos nem cátions, mas muito ácidas devido à presença de ácidos húmicos: água preta).

O último caso ocorre mais frequentemente em áreas de solos podzolizados nos cursos alto e médio do Rio Negro, onde as manchas de Terra Preta são raras e pequenas, e as de Terra Mulata ainda não foram relatadas. Os dados disponíveis apontam um teor muito mais elevado de matéria orgânica (MOS) nos dois tipos de solo - frequentemente o dobro da quantidade normal - que têm, além disso, um grau elevado de permanência (Cunha, 2005). A respiração heterotrófica pela digestão microbiológica é aparentemente baixa nas camadas subsuperficiais e no subsolo, resultando em porcentagens elevadas de MOS estável ou recalcitrante, com valores da relação C/N de aproximadamente 12 ou mais alto. Ao mesmo tempo, essa MOS é aparentemente mais reativa que a matéria orgânica dos solos da floresta primária: os valores da CTC dela são 50-100% mais elevados (Sombroek, 1995). Isso significa que os solos em questão podem reter e, subsequente, liberar, substanciais quantidades de nutrientes para as plantas. Estudos detalhados da composição específica da MOS de solos de TP e TM são poucos (Glaser, 1999; Cunha, 2005). Uma atividade microbiológica específica pode estar envolvida, com determinados microorganismos que agem como inoculadores (Woods e McCann, 1999). Estudos da atividade bacteriológica dos solos (Sparovek, em preparação) podem elucidar esse aspecto.

Os valores de fósforo disponíveis para as plantas são muito elevados nas TPs (frequentemente acima de 150 mg.kg⁻¹ de P extraído pelo método Bray nas camadas subsuperficiais), mas só moderadamente altos nas TMs (50-150 mg.kg⁻¹ de P em poucos perfis analisados), em comparação com solos normais da floresta (Sombroek, 1966; Smith, 1980). Os estudos detalhados da composição fracionária do fósforo em TP/TM estão em andamento (Glaser; Cravo; Comerford e Falcão).

As quantidades de bases trocáveis são mais elevadas que nos solos da floresta, mas a saturação por bases é apenas moderadamente alta: 20% a 70%, comparada a aproximadamente 15% em solos não enriquecidos e associados com valores de pH de 4.5 - 5.5, em vez de 4.0 - 4.5. Os valores de cálcio e magnésio são sempre mais elevados, mas suas quantidades totais são extremamente variáveis, sem dúvida, estando relacionado ao teor de cálcio das águas dos rios mais próximos, ou à disponibilidade de outras fontes nutricionais locais.

A utilização agrícola atual, por pequenos agricultores sem acesso a fertilizantes comerciais, pode ser mantida por 10 a 15 anos sem diminuição apreciável da fertilidade desses solos, mas os locais de TP utilizados por períodos mais longos mostram um declínio definitivo na produtividade das culturas (Tony Jarbas F. Cunha, em preparação). Existem também indicações (Cravo, comunicação verbal), que culturas semiperenes cultivadas permanentemente em solos de TP, podem sofrer restrições nutricionais pela diminuição de potássio e de micronutrientes no solo, principalmente boro, cuja diminuição causa a deformação dos frutos de mamão, conhecida regionalmente como *cara-de-gato*.

Critérios para classificação

Para os pedólogos parece ser óbvio o conceito referente aos tipos de Anthrosol horticos. Os dados disponíveis ainda não permitem o esquema de uma relevante e detalhada classificação pedológica e arqueológica de campo, mas alguns critérios de classificação são sugeridos como segue (ref.: World Reference base for Soil Resources, FAO/Isric, 2001; US Soil Taxonomy, 1992 e Embrapa - Nova Classificação de Solos Brasileiros, 2000):

- Espessura da camada rica em matéria orgânica: pelo menos 50 cm quando argilosa, podendo ser pelo menos 70 cm quando arenosa;
- Cor (em condições úmidas; Terminologia e notação de Munsell): preto, bruno muito escuro, preto brunado ou bruno escuro (ex. valor e croma 3 ou inferior); e, algumas vezes, com uma tonalidade avermelhada, comparada aos critérios “mólico” e, “úmbrico”. Para os perfis do solo com

abundância de cerâmica - na Terra Preta propriamente dita - os valores de cor e croma podem ser somente 2 ou inferiores (preto avermelhado, preto brunado, ou bruno avermelhado muito escuro), comparável com o critério "melânico";

- Elevado teor de carbono orgânico, medido a uma profundidade de 50 cm: 1,4% de carbono orgânico ou mais (comparável com as denominações "húmico" para alguns Ferralsols e Nitisols);
- Valor elevado da CTC pela porcentagem de carbono orgânico: superior a 50% em relação aos solos adjacentes normais (a ser estabelecido pelo método gráfico da Embrapa Solos);
- Alta quantidade do conteúdo de fósforo facilmente extraível: mais de 100 mg.kg⁻¹ de P₂O₅ extraível pelo método de Olsen, na fração terra fina; mais de 150 mg.kg⁻¹ extraível pelo método Mehlich 1 ou mais de 250 mg.kg⁻¹ extraível por ácido cítrico a 1%; em todos os casos, avaliados nos primeiros 50 cm de profundidade (esses valores podem variar conforme a textura do solo);
- Altos níveis de manganês (acima de 500 mg.kg⁻¹) e zinco (acima de 50 mg.kg⁻¹);
- Presença de artefatos/cerâmicas, avaliados nos 50 cm superiores: mais elevado ou abaixo de 1% por volume, para TP e TM, respectivamente;
- Aabundância de "crotovinas", citando-se como exemplo os canais de mesofauna, abaixo do horizonte escuro, preenchidos com solo rico em matéria orgânica, como um critério adicional;
- Presença de carvão vegetal ("preto" ou "carbono pirogênico") na fração terra fina de, pelo menos, 1% do volume avaliado nos primeiros 50 cm, como um outro critério adicional.

Outras subdivisões adicionais podem ser feitas sobre todas as texturas (arenosa vs argilosa) e no pH ou na saturação por bases (<35, 35-50, 50-80 e >80 %). Alguns prefixos possíveis são: para-hórtico, proto-hórtico, hipo-hórtico, hiper-hórtico, moli-húmico ou umbri-húmico. Tropo-plágico poderia ser aplicado, caso ocorresse um evidente aumento da espessura do perfil, através de grandes adições de terra como em montes de enterro.

Redescobrimo e Aplicando as Técnicas Pré-colombianas Indígenas para o Uso Sustentável da Terra

Pesquisa de campo

Para alguns locais de Terra Preta, o enriquecimento pode ter ocorrido de forma acidental, pela deposição de resíduos de cozinha. Para outros, especialmente onde as faixas de Terra Mulata de extensão considerável estão presentes, uma técnica especial de manejo da terra teria sido envolvida, resultando em um aumento de matéria orgânica estável no solo, e na fertilidade química do solo que é substancialmente mais elevada.

Os remanescentes atuais dos grupos populacionais ameríndios na Região Amazônica mudaram-se de seus locais originais para novas áreas (Cunha, 1992), com fases nômades entre elas, e normalmente não têm conhecimento de como as TPs e TMs surgiram em seus novos habitats (Pabst, 1993). Existem somente alguns relatos verbais (Roosmalen; Mosimann da Silva) de que, em áreas isoladas de nascentes de rios, tais como no alto Xingú, as práticas atuais de uso das terras pelos indígenas podem ser remanescentes, ainda, de práticas pré-Colombianas. Entrevistas locais, pacientes gravações nos locais de ocorrência de tais práticas anuais e a seleção de fragmentos de descrições feitas por antigos viajantes poderão dar algumas indicações.

Alguns itens da pesquisa podem ser formulados, como segue:

- Considerando que teores relativamente elevados de MOS, de fósforo e de cálcio/magnésio parecem ser características de solos TP/TM; como os grupos ameríndios primitivos teriam coletado as elevadas quantidades dos materiais básicos necessários, em um ambiente de solos fortemente intemperizados e ácidos? Seriam esses materiais a liteira da floresta ou produtos não madeireiros do

sub-bosque; gramíneas aquáticas; ossos e resíduos de peixes; conchas; exudato de raízes contendo Ca; ossos de animais; carvão fino (produzido propositalmente); cinzas; ou, ainda, todos esses materiais juntos?

- Que técnicas foram usadas para transformar esses materiais básicos em características estáveis e, ao mesmo tempo, a MOS mantendo-se ativa nos solos TP/TM? Moagem e mistura manual, decomposição e compostagem, ou produção intencional de esterco animal?
- Se uma digestão animal ou um período de pisoteio foram essenciais para produção de esterco (como no caso dos solos *plaggen* do noroeste europeu), que tipo de animais foram então usados nos currais, cercas ou estábulos, dada a ausência, naquela época, de gado bovino e ovino? Poderiam ter sido usadas tartarugas aquáticas gigantes ou jabotis gigantes para esta finalidade, como pode ser concluído da narrativa de Carvajal (original em 1542; reeditada em 1934), sobre a abundância desses animais em vilas de ameríndios?

Pesquisas de laboratório

Pesquisas avançadas de laboratório, em amostras de materiais de seqüências representativas de TP-TM-TC (a última para o solo natural comum), podem ser dirigidas para responder as seguintes questões:

- Estariam a mesofauna específica ou as comunidades microbianas (minhocas, bactérias, fungos micorrízicos) envolvidas na criação e na reprodução da MOS estável nos solos de TP/TM?
- Quais são, precisamente, as características físico-químicas da MOS estável em solos TP e TM, respectivamente?
- Seria a estabilidade da MOS o resultado da complexação cripto-cristalina com um mineral de argila predominante, tal como a caolinita, através de ligações com compostos de Ca e P, ou mesmo com esses elementos, ou seria devido à aplicação de carbono "preto" ou "pirogênico" do carvão vegetal, por si só, ou uma combinação de ambos?
- Qual é a razão para a relativamente alta atividade, por unidade de MOS, em solos TP/TM, em comparação com solos não enriquecidos (TC), representada pela substancialmente alta capacidade de armazenamento de nutrientes e água?
- Quanto tempo essas propriedades favoráveis da TP/TM irão permanecer, após o abandono pelos Ameríndios (análises de ^{14}C e ^{13}C) e em que grau estão sendo degradadas, devido ao sistema atual de ocupação a que estão submetidas por pequenos produtores, com agricultura de subsistência, que não usam as técnicas indígenas de melhoramento do solo, em áreas de ocupação permanente?

Pesquisas aplicadas

Uma vez elucidados os itens das pesquisas de campo e laboratório, várias questões relacionadas com a aplicação desses itens devem ser resolvidas:

- Propriedades favoráveis dos solos TP/TM podem ser imitadas/reproduzidas em outros locais, sem degradar as áreas circunvizinhas e dentro de um período temporal de décadas, em vez de séculos?
- Qual seria a combinação de métodos mais promissora para criar nova TP/TM? Essa combinação poderia ser integrada nas atuais práticas agroflorestais e de manejo de floresta secundária (capoeira)? Se for para incluir um período de criação animal no sistema, então, que animais devem ser envolvidos mais eficazmente, sob os pontos de vista técnicos, econômicos e sociais?
- A atual população rural de pequenos produtores da região estaria disposta a realizar o trabalho manual extra? Necessitaria ela de incentivos financeiros ou de outra natureza, tal como um suprimento assegurado de calcário e de rocha-fosfatada?

- Quais as instituições locais que podem melhor dirigir a fase experimental de um programa de reprodução de TP/TM, e quanto tempo deve durar a fase de testes, para assegurar a permanência da MOS recentemente adicionada?
- Qual seria o potencial quantitativo, em termos de toneladas de carbono seqüestradas e da redução de hectares de desmatamento, se a criação de novas Terras Pretas e Terras Mulatas na região Amazônica fossem obtidas sistematicamente? Que quantidade de recursos financeiros internacionais por hectare ou pequena propriedade, considerando o mecanismo de desenvolvimento limpo do protocolo de kyoto ou de outro, seria necessária anualmente?
- Finalmente, podem e devem os conhecimentos adquiridos e os subseqüentes pacotes de desenvolvimento sustentável beneficiar os remanescentes das primitivas tribos Ameríndias, dentro e fora da área de suas reservas legais; em termos de aumento da extensão da reserva e/ou da compensação financeira pela reutilização dos conhecimentos sobre os sistemas tradicionais de seus ancestrais, considerando o conceito comunitário de direitos de propriedade intelectual (Posey, 2000)?

Bases para um Projeto de Terra Preta Nova

As discussões sobre a série de questões e hipóteses anteriormente descritas conduziram à formulação de um projeto brasileiro de pesquisa e desenvolvimento, multidisciplinar e multi-institucional, chamado Terra Preta Nova (TPN), com a participação de cientistas de outros países latino-americanos, EUA e Europa. Seus principais objetivos são: a) contribuir para a redução e para o uso sustentável de solos da Amazônia por pequenos produtores e, para a conservação das florestas primárias, através da reprodução ou imitação das terras pretas antropogênicas das comunidades indígenas pré-Colombianas; e, b) contribuir, também, para a manutenção das funções de estoque de carbono e dissipação exercidas pela floresta Amazônica e seus solos, preservando melhor o legado cultural dos Ameríndios da Amazônia.

As atividades do projeto previsto são as seguintes:

- Amplos levantamentos regionais e entrevistas nos locais de ocorrências de Terra Preta (TP) e de TP associada com Terra Mulata (TM), sobre a gênese e sobre aspectos relacionados com a etno-(ou agro) biodiversidade;
- Pesquisa antropológica e arqueológica no local de ocorrência de TP/TM, e atividades dirigidas para preservação desses locais, nas áreas de assentamentos rápidos (tais como: Apui, Humaitá, Itaituba, Novo Progresso, no Brasil e Araracuara na Colômbia);
- Análises de rotina e especializadas em amostras de materiais coletados, visando a estabelecer as razões para a alta estabilidade e para a elevada capacidade de troca catiônica da aumentada matéria orgânica do solo em questão;
- Experimentos de laboratórios para obtenção de matéria orgânica de solo estável e ativa, usando as indicações preliminares dos levantamentos e das entrevistas;
- Experimentos agrônômicos e agroflorestais conduzidos em áreas de produtores, para reproduzir a TP/TM, em conjunto com projetos de recuperação de áreas degradadas amazônicas e de projetos de práticas agroflorestais;
- Transferência dos pacotes resultantes das práticas de manejo do solo TPN para áreas prioritárias de manejo ambiental integrado, isto é, aquelas áreas onde a conservação da cobertura vegetal natural e dos assentamentos sustentáveis de pequenos produtores devem permanecer unidas, formando o que se pode denominar “*reservas de desenvolvimento sustentável*”;
- Promoção da consciência sobre o valor do patrimônio indígena, por meio de publicações educativas, em nível de estado, coleções de referência dos materiais de TP/TM, locais de ocorrências arqueológicas etc.

Espera-se que a Global Environmental Facility (GEF, como resultado da conferência mundial sobre meio ambiente realizada no Rio de Janeiro em 1992), esteja interessada no financiamento, pelo menos parcial, do projeto, através de sua área focal do componente 13, intitulado "*conservação e uso sustentável da diversidade biológica de importância agrícola* " ("Conservation and sustainable use of biological diversity important for agriculture").

Estoque e Estabilidade do Carbono nos Solos da Amazônia Brasileira

Philip M. Fearnside

Estoque de Carbono do Solo

Na década de setenta, o Projeto RADAMBRASIL coletou perfis de solo em aproximadamente 3 mil pontos espalhados (desigualmente) ao longo de Amazônia Brasileira (Brasil, Projeto RADAMBRASIL, 1973-1983). Esses dados foram analisados por Moraes et al. (1995), com ponderação pelas áreas dos diferentes tipos de solo para gerar uma estimativa do estoque de carbono até a profundidade de 1 m sob a vegetação original nos 5×10^6 de km² da Amazônia Legal. O total computado foi de 47 gigatoneladas (GtC) (1 GtC = 1 gigatonelada de carbono, ou 1 bilhão de toneladas), ou média de 94 tC/ha. Com erro padrão igual a 24,5% da média (Cerri et al., 2000, p. 38), é alta a incerteza; haja vista a necessidade de informações mais precisas para a obtenção de estimativas mais confiáveis do estoque regional de carbono no solo (Sombroek et al., 2000).

O carbono do solo não é limitado apenas ao 1 m superficial que foi incluído na estimativa de Moraes et al. (1995). Trumbore et al. (1995) estudaram estoques de carbono do solo até 8 m de profundidade em Paragominas, PA. As camadas entre 1 e 8 m de profundidade contêm 155 tC/ha, ou 152% do estoque, no mesmo local, na faixa de 0 a 1 m de profundidade. Presumindo a mesma proporcionalidade para o resto da região, o solo profundo contém 71 GtC adicionais, assim fazendo com que o total, para o solo até 8 m, seja de 138 GtC, ou 276 tC/ha.

A estabilidade do carbono do solo é crítica para as mudanças que ocorrem quando a floresta é desmatada ou sofre outras perturbações. Estabilidade de carbono afeta seu estoque total (equilíbrio) e também a taxa de mudança (*i.e.*, os estoques nos estados transientes na medida em que se aproxima ao novo equilíbrio). Trumbore et al. (1990) calcularam um estoque de carbono lábil (hidrolisável) do solo de 54 tC/ha, medido nos 60 cm superficiais de um Ultisol (Podzólico) amazônico típico (Trumbore et al., 1990, p. 411) da área de Curuá-Una, Pará (Sombroek, 1966, p. 244). Nesse cálculo foi constatado que a camada de 60 a 150 cm tinha 36 tC/ha adicionais de carbono lábil e 40 tC/ha de carbono refratário. O denominado “refratário” pertence a um “estoque lento” de carbono que, freqüentemente, presume-se não sofrer nenhuma degradação. Porém, esse estoque tem, na realidade, substituição a uma taxa apreciável, até mesmo no solo profundo, o que poderia então representar emissões significativas de carbono por causa do grande tamanho do estoque lento na Amazônia Brasileira. Trumbore et al. (1995, p. 527) calcularam um tempo de substituição < 25 anos para todo o estoque de carbono do solo de 0 a 8 m de profundidade sob pastagem. O aumento de temperatura tem maior efeito na aceleração da liberação de carbono lento que na de carbono lábil (Bellamy et al., 2005). Isso ocorre porque a sensibilidade de taxas de reação a mudanças de temperatura (função Arrhenius) é maior para reagentes com energias de ativação mais altas, ou seja, para os que são menos reativos, ou mais recalcitrantes (Davidson & Janssens, 2006).

Impactos sobre Estoques de Carbono no Solo

Desmatamento

O desmatamento tem fortes influências sobre os estoques de carbono do solo. O aumento da temperatura, quando a terra é desmatada e exposta ao sol, muda o equilíbrio entre a produção e a oxidação de carbono no solo, deslocando o ponto de equilíbrio para baixo devido ao aumento da taxa

de oxidação (Cunningham, 1963; Greenland & Nye, 1959; ver também Sánchez, 1976, p. 164-172). A ação da queimada, em si, gera relativamente pouca oxidação do carbono do solo (Nye & Greenland, 1964; Sánchez, 1976, p. 373). Ao mesmo tempo, as contribuições de carbono do solo mudarão ambos os totais e a sua distribuição com a profundidade. Na floresta o solo recebe contribuições de carbono a partir da decomposição de liteira na superfície, de exsudatos de raízes e da substituição destas (especialmente a morte das finas, menores de 2 mm de diâmetro). Na floresta tropical, as árvores têm a maior parte de suas raízes perto da superfície, mas também existem as que estendem suas raízes até 8 m de profundidade ou mais (Davidson et al., 2004; Nepstad et al., 1994). Cipós podem ter raízes particularmente fundas; em Trombetas, PA, algumas chegam a alcançar 14 m (um fenômeno que é monitorado pois pode afetar a qualidade de minério de bauxita a essa profundidade). Plantas forrageiras (principalmente capim) medidas em Rondônia têm raízes concentradas nos 50 cm superficiais (Fearnside, 1989, p. 47-48), como também as formações lenhosas em áreas desmatadas, cujos sistemas radiculares são bem menos profundos não somente se comparados aos de árvores e florestas primárias, como também aos de florestas secundárias, inclusive aos de árvores usadas como componentes de sistemas agroflorestais (Wiesenmüller et al., 1998). Quando florestas primárias são cortadas e substituídas por formações com sistemas radiculares menos profundos, a introdução de carbono no solo acontece a profundidades onde a substituição de carbono é mais rápida, havendo, conseqüentemente, maiores liberações para a atmosfera (Nepstad et al., 1994). Medidas isotópicas (Nepstad et al., 1994) indicam que o estoque de carbono presente a profundidades abaixo de 60 cm diminui após a conversão de floresta em pastagem devido à existência de uma taxa apreciável de oxidação de carbono nessas profundidades, mesmo sem nenhuma perturbação direta (por exemplo, a aração).

O carbono do solo e seu destino são críticos ao futuro da mudança de clima global (Schultz & Freibauer, 2005). O estoque de 138 GtC até 8 m no solo é quase o dobro das 80 GtC presentes em 1990 na vegetação da Amazônia Legal, sem excluir cerrado e áreas desmatadas, além de raízes e biomassa morta (dados de: Fearnside, 2000, p. 123 & 129; Fearnside, 1997, p. 330 & 343; Fearnside, 2003, p. 58). A inclusão dessas emissões na contabilidade nacional será, portanto, indispensável para que a *Convenção Quadro sobre Mudança de Clima da Organização das Nações Unidas (UNFCCC)* tenha êxito em controlar o efeito estufa por meio de compromissos negociados sob o Protocolo de Quioto. Atualmente, por motivos que em grande parte são artificiais, o solo é omitido nesses compromissos. Tal omissão tem como elemento fulcral a idéia de que as incertezas e as controvérsias científicas são grandes demais para permitir compromissos. As reservas em assumir compromisso, no que concerne aos solos tropicais, estão baseadas em uma tabulação não crítica de uma gama de diferentes resultados publicados, sem considerar, contudo, o fato de que erros conhecidos em métodos de cálculo e em interpretação explicam a maioria dos resultados anômalos (veja revisão em Fearnside & Barbosa, 1998). O *Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC)*, nos inventários nacionais que são compilados sob a UNFCCC, não tem encorajado a inclusão de fluxos de carbono dos solos abaixo de florestas tropicais desmatadas. As instruções para os relatórios afirmam que “não há nenhum consenso científico de que o desmatamento leva a perdas significantes de carbono do solo em florestas tropicais. Esse cálculo é opcional para florestas tropicais” (IPCC/OECD Joint Programme, 1994). As instruções explicam que “Os cálculos básicos permitem, mas não encorajam a estimativa de perda de carbono do solo depois de desmatar florestas tropicais. Há resultados de pesquisa que indicam que a conversão de florestas tropicais em pastagens pode ou não resultar em perda de carbono do solo” (IPCC/OECD Joint Programme, 1994). Tal afirmação está baseada em uma série de estudos, nos quais alguns indicam perdas de carbono do solo (Bushbacher, 1984; Cerri et al., 1991; Fearnside, 1980, 1986) e outros não (Lugo et al., 1986; Keller et al., 1986). Keller et al. (1986), entretanto, afirmam “que corte raso de florestas tropicais não parece liberar carbono do solo” (IPCC/OECD Joint Programme, 1994). No entanto, o estudo em questão não mediu carbono do solo nem tirou conclusões a respeito, mas, ao contrário, mediu emissões líquidas de gás carbônico (CO₂) e de outros gases no solo sob floresta e em área adjacente de corte raso não queimado (sem plantas forrageiras como o capim). Entretanto deve-se observar que emissão de gases não é a mesma coisa que mudanças em estoques de

carbono: a emissão de carbono pode permanecer inalterada, enquanto uma redução da taxa de contribuição para o solo resulta em rebaixamento do estoque de carbono. No caso do estudo de Lugo et al. (1986), um aumento no armazenamento de carbono foi achado em solos sob pastagens em Porto Rico, especialmente em locais mais secos. Se mudanças em carbono do solo são incluídas em um inventário nacional, os cálculos consideram os 30 cm superficiais do solo e uma série de parâmetros para estimar novos estados de equilíbrio após 20 anos (IPCC, 1997, p. 5.44-5.48). O inventário nacional brasileiro indica uma perda média na Região Norte (sete dos nove estados da Amazônia Legal) durante os anos 1990-1994 de 5,9 milhões de tC/ano (Brasil, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004).

Manejo da pastagem

Manejo de pastagens é fator crítico para os estoques de carbono do solo na Amazônia, já que a pastagem é, indubitavelmente, o uso predominante do solo em áreas desmatadas. Onde as pastagens têm um manejo ideal, em que insumos de fertilizante suprem nutrientes como o fósforo, em que há consorciação de leguminosas e rotação controlada de gado, o estoque de carbono no solo de superfície tende a aumentar, se comparado ao solo sob a floresta original (Choné et al., 1991; Cerri et al., 1991; Neill et al., 1996; Neill & Davidson, 2000). Porém, deveria ser notado que, por várias razões, foram exageradas as reivindicações desses benefícios (veja revisão em Fearnside & Barbosa, 1998).

A compactação do solo sob pastagens frequentemente conduz a conclusões espúrias de que o estoque de carbono do solo esteja aumentando. Quando expostos ao sol e ao pisoteio do gado, os macroporos no solo diminuem, o que aumenta a densidade do solo. Por conseguinte o estoque de carbono em uma determinada faixa de profundidade aumentará, então, até mesmo se a concentração de carbono permanecer constante. O estoque de carbono é calculado multiplicando a concentração (gC/g de solo seco) pela densidade do solo (g/cm³ de solo seco) e pelo volume da camada do solo (cm³). Portanto para uma comparação válida de estoques no solo, antes e depois de desmatamento, é necessário comparar uma massa equivalente (não um volume idêntico) de solo, ou seja, seria comparado o carbono no perfil do solo para uma determinada profundidade sob floresta (digamos 1 m superficial) com o estoque no perfil mais curto que é compactado de 1 m do solo de floresta (veja Fearnside, 1980; Fearnside & Barbosa, 1998).

Apesar de problemas com algumas estimativas, é, não obstante, verdade que um bom manejo de pastagem pode aumentar os estoques de carbono no solo de superfície (até 30 cm de profundidade), tanto se comparado aos estoques em pastagens bem manejadas, como se comparado aos da floresta original (Neill et al., 1996). Entretanto, deve ser lembrado que o carbono nas camadas profundas do solo diminuirá (Nepstad et al., 1994), e que o carbono total do ecossistema (inclusive a biomassa) é muito mais alto em floresta que em pastagem, qualquer que seja o sistema de manejo.

A importância potencial de aumentar os estoques de carbono do solo por meio de manejo melhorado de pastagem sofre sérias restrições, em face da escassez de recursos físicos e financeiros. Tais recursos são insuficientes para manter esses sistemas de manejo nas áreas já desmatadas (que já são maiores que a França), e muito menos seriam para a área da floresta restante se esta fosse convertida em pastagens. Atualmente as jazidas de fosfato são usadas, quase que completamente, para manter a agricultura nas partes sul e central do País. As conhecidas no Brasil (Beisiegel & de Souza, 1986) durariam apenas 81 anos para manter a área atualmente desmatada, no entanto, se a manutenção das pastagens amazônicas fosse receber todo o fosfato do Brasil, a região inteira consumiria essas jazidas em apenas 11 anos. Não obstante o fato de que fosfato pode ser importado do estrangeiro, estima-se, entretanto, que os estoques globais sejam esvaziados dentro do século atual, o que suscita o questionamento se a manutenção da pecuária em vastas áreas de pastagens na Amazônia seria o melhor uso desses escassos recursos (Fearnside, 1998). Há um elevado grau de incerteza quanto aos estoques de fosfato existentes no mundo (Johnston, 2000), embora isso não altere o fato de que esses estoques representam séria limitação para a agricultura e a pecuária em escala global. Embora existam, na

Amazônia, usos da terra com melhor aproveitamento dos nutrientes do solo que as pastagens (*e.g.*, agroflorestas, veja Fearnside, 1995), são estas, hoje, que predominam nas paisagens desmatadas na região e provavelmente vão continuar predominando nas próximas décadas (Alencar et al., 2004).

Mudanças climáticas

É provável que mudanças climáticas resultem em liberações significativas de carbono do solo na Amazônia. O efeito estufa resultará, obviamente, em temperaturas do solo mais altas, mas a quantia do aumento de temperatura na Amazônia varia muito entre os diferentes modelos do clima global. O modelo HadCM3 do Centro Hadley, no Escritório Meteorológico do Reino Unido (UKMO), prediz que o efeito estufa, não mitigado, resultaria em aumento da temperatura em até 6°C na parte ocidental da Amazônia (Cox et al., 2000, 2004). Essas mudanças de temperatura, junto com a diminuição da chuva predita pelos mesmos modelos, resultariam em uma mortandade generalizada da floresta na Amazônia até o ano 2080. Isso reduziria ainda mais os estoques de carbono no solo, além dos efeitos diretos dessa mudança climática.

Se tais resultados estão corretos, a perspectiva é severa para a Floresta Amazônica e para os seus estoques de carbono, além dos impactos acarretados pela perda destes. Não seria demais enfatizar que esses resultados dependem de decisões humanas. Simulações com uma primeira versão do modelo do Centro Hadley indicaram que a catástrofe até 2080 causada por emissões de gases de efeito estufa sem mitigação seria adiada em um século se a concentração atmosférica de CO₂ permanecesse abaixo de 750 ppmv (partes por milhão de volume), ou em mais de dois séculos se a concentração fosse mantida abaixo de 550 ppmv (Arnell et al., 2002). Negociações começaram, pelo menos simbolicamente, em novembro de 2005 com o intuito de estabelecer a concentração de CO₂ que define “interferência perigosa” no sistema climático global, o que é especificado no Artigo 2 da UNFCCC como o objetivo da Convenção (UNFCCC, 1992). É, portanto, de suma importância que o Brasil use seu peso diplomático para pressionar a favor de uma definição de “perigoso” bem abaixo de 550 ppmv de CO₂, haja vista ser a Amazônia o local mais propenso a sofrer alguns dos piores impactos decorrentes do efeito estufa. A União Européia adotou como definição de “perigoso” um aumento máximo de 2°C da temperatura média mundial, em relação à temperatura pré-industrial, o que corresponde a uma concentração máxima de CO₂ de 400 ppmv; a concentração poderia ser estabilizada nesse nível após breve subida para 425 ppmv sem exceder em 20% o risco de ultrapassar o teto de 2°C para o aumento máximo de temperatura (Hare & Meinshausen, 2006).

Townsend et al. (1992) fizeram um dos primeiros modelos, no qual é demonstrada a possibilidade de mudanças climáticas causarem perdas significativas de carbono do solo na Amazônia. No entanto, a temperatura e as mudanças de vegetação previstas pelo modelo do Centro Hadley (Cox et al., 2000, 2004) são muito mais severas do que as mudanças presumidas por Townsend et al. (1992). Aquele indica que o sistema climático se trava, essencialmente, em um “El Niño permanente”, com a consequência de rigorosas secas na Amazônia. Entretanto, outros modelos do clima global, nos quais faltavam as mesmas retroalimentações, não indicavam uma catástrofe desse tipo (veja revisão por Nobre, 2001). Porém, estes têm sido atualizados para incluir processos que, antes, eram representados somente no modelo do Centro Hadley. Outrossim a grande maioria dos modelos, hoje, aponta a formação de um “El Niño permanente”, embora sejam divergentes com relação à data para início desse fenômeno. Durante os cinco anos após o lançamento do modelo do Centro Hadley em 2000, vários outros foram testados no Centro de Pesquisa em Tempo e Clima (CPTEC). Contudo, em novembro de 2005, concluiu-se que o modelo Had3CM, proposto pelo Centro Hadley, representa melhor o clima atual na Amazônia, o que corrobora a conclusão de que o cenário catastrófico indicado por esse modelo seja o mais provável (J. Marengo, declaração pública, 2005).

O futuro papel do carbono do solo frente ao efeito estufa é uma preocupação mundial porque a liberação desse carbono representa uma alça de retroalimentação positiva potencial um “efeito estufa fora de controle”. Quanto mais carbono é liberado pelos solos, maior o aumento da temperatura devido

ao efeito estufa, o que conduz a uma maior liberação de carbono do solo. A quantidade liberada seria significativa para o clima mesmo se fosse uma pequena porcentagem dos 1,6-2,0 trilhões de toneladas de carbono existentes nos solos da Terra até 1 m de profundidade (Prentice et al., 2001; Batjes, 1996). Junto com a emissão por morte de vegetação, existe a possibilidade que a população humana não pode lograr êxito na quebra desse ciclo vicioso diminuindo sua própria emissão, haja vista a magnitude da emissão do solo e da vegetação pode exceder as emissões humanas oriundas da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento. As emissões dos solos e vegetação poderiam ser mais que a emissão atual de aproximadamente 8 GtC/ano da queima de combustível fóssil e da fabricação de cimento. Ainda que adicionássemos a isso o desmatamento, para o qual estimativas globais variam de 1,6 GtC/ano para 1980-1989 (Schimel et al., 1996, p. 79; veja revisão em Fearnside, 2001) até 2,4 GtC/ano para 1990 (Fearnside, 2000), poderia não elevar o total antropogênico a esse nível. Portanto, até mesmo a eliminação completa das emissões provocadas pelo homem poderia ser insuficiente para evitar um efeito estufa fora de controle.

Resultados modelados da emissão de carbono do solo indicam trajetórias distintas para diferentes partes do mundo, cenário em que a Amazônia desempenha um papel chave para os resultados globais (Jones et al., 2005). Acoplando o clima simulado pelo modelo do Centro Hadley (HadCM3LC) ao modelo de estoques múltiplos de carbono de solo de Rothamsted (RothC), o mundo inteiro terá um aumento do estoque de, aproximadamente, 25 GtC até o ano 2070 (devido à fertilização das plantas por níveis mais elevadas de CO_2), ocorrendo depois disso uma queda abrupta de 86 GtC até 2100, ou seja, 2,9 GtC/ano. O modelo indica nenhuma ou muito pouca liberação de carbono do solo na Inglaterra, o que poderia significar que os resultados modelados são demasiadamente otimistas dado as perdas de carbono recentemente descobertas decorrentes dos modestos aumentos de temperatura até hoje. A queda do total global do estoque de carbono no solo indicada pelo modelo RothC é o resultado líquido de aumento do estoque de carbono na Sibéria, que é mais que compensado pela drástica diminuição do estoque na Amazônia. Em simulação do modelo RothC em Manaus (AM), constatou-se que a perda até 2100 seria de 14 tC/ha devido ao efeito direto do aumento da temperatura, mais 37 tC/ha devido à diminuição das entradas de matéria orgânica decorrentes dos efeitos de mortalidade, da inibição de fotossíntese pela temperatura alta e pela falta de água sobre a Amazônia Legal, o que representaria 25,5 GtC liberadas ao longo de 30 anos, ou seja, 0,9 GtC/ano. Para fins de comparação, esse resultado é dez vezes o que o Brasil emite atualmente com a queima de combustíveis fósseis.

Portanto, é premente a necessidade de pesquisas intensificadas a fim de quantificar as emissões de carbono do solo sob diferentes cenários climáticos, além da necessidade de ações imediatas que cessem ou até mesmo revertam o efeito estufa em uma escala maior que aquela concordada sob o Protocolo de Quioto.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: Proc. 470765/01-1, 306031/2004-3, 557152/2005-4, 420199/2005-5) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PPI 1-1005, PRJ05.57), pelo apoio financeiro. A R.I. Barbosa e aos dois *referees*, pelos comentários.

O Carbono Pirogênico

Tony Jarbas Ferreira Cunha
Etelvino Henrique Novotny
Beáta Emöke Madari
Vinicius de Melo Benites
Ladislau Martin-Neto
Gabriel de Araújo Santos

O domínio do fogo foi um dos mais importantes eventos que possibilitaram a hegemonia humana sobre a Terra, sendo a primeira evidência do seu uso, ainda pelos hominídeos, datada de 1 a 1,5 milhão de anos (Crutzen & Andreae, 1990). Com o surgimento do *Homo sapiens*, as queimadas foram expandidas em todos os continentes (Malingreau et al., 1985) e datação de carvão em sedimentos mostra uma correlação entre as taxas de queima (incidência de fogo) e os assentamentos humanos (Crutzen & Andreae, 1990). Ainda hoje grandes queimadas são utilizadas em todo o mundo tendo como objetivo a abertura de novas áreas para uso agropecuário. No Brasil, praticamente uma área do tamanho do Estado de Alagoas é queimada anualmente na Floresta Amazônica.

Entretanto, desde o aparecimento das gimnospermas, há cerca de 360 milhões de anos, queimadas naturais sempre ocorreram (Jones & Rowe, 1999). Altas concentrações de carbono pirogênico em sedimentos do cretáceo/terciário sugerem que o final da idade dos répteis na terra, há cerca de 65 milhões de anos, foi associado a grandes incêndios globais que emitiram para a atmosfera grandes quantidades de carbono pirogênico (Wolbach et al., 1985).

O papel do fogo foi e ainda é de grande importância no desenvolvimento da humanidade. Povos antigos valiam-se do fogo não somente no preparo dos alimentos, como também em rituais religiosos, práticas de defesa, fertilização dos solos e atividades beligerantes. Segundo Spurr & Barnes (1973) o fogo é o fator dominante na história de ecossistemas florestais, e a grande maioria das florestas do mundo, com exceção das florestas permanentemente úmidas e de cinturões mais úmidos nos trópicos, foi queimada em intervalos frequentes de mais ou menos mil anos, concordando com as informações de Crutzen & Andreae (1990).

Nos incêndios naturais e provocados, na queima de combustíveis fósseis, madeira e carvão, bem como na incineração de detritos, geralmente, ocorre a combustão incompleta do material orgânico, o que leva à formação de uma série de compostos genericamente denominados carbono pirogênico. Esses compostos, pela sua recalcitrância, representam um importante reservatório de carbono estável, podendo mitigar o aumento da concentração atmosférica de CO₂, e também desempenham importante papel na fertilidade dos solos, especialmente quando química e biologicamente alterados.

Definições

Carbono pirogênico

Smernik et al. (2000) utilizam o termo carbono pirogênico para descrever o mais inerte componente da matéria orgânica (o componente grafítico), e o termo carvão é usado para descrever uma grande variedade de materiais orgânicos de coloração preta e altamente aromáticos formados durante a combustão, mas que não precisam ter a estrutura grafítica. Por sua vez, e Cope & Chaloner (1980) consideram que a combustão de materiais derivados de plantas leva à formação de duas amplas categorias, carvão e carbono pirogênico, este é formado a temperaturas superiores a 600 °C, aquele a temperaturas inferiores a 600 °C.

Novakov (1984) definiu o termo carbono pirogênico como “material produzido por combustão e que apresenta microestrutura grafitica”. Termos como carvão (chacoal), fuligem (soot) e carbono elementar são encontrados na literatura como sinônimos de carbono pirogênico apesar de não existir uma terminologia geralmente aceita (González-Pérez et al., 2004).

Entretanto, Simpson & Hatcher (2004a) utilizam o termo carbono pirogênico para descrever diferentes produtos da combustão incompleta, tais como: fuligem, carvão e grafite. Além disso, Schmidt & Noack (2000) afirmam que não existe um consenso geral no que diz respeito a um ponto divisório entre as diferentes propriedades físicas e químicas do carbono pirogênico, ou seja, um limite entre os diversos subprodutos da combustão que têm sido considerados como carbono pirogênico.

González-pérez et al. (2004) propuseram Uma melhor descrição para carbono pirogênico, na qual este pode ser entendido como “um contínuo entre materiais de plantas parcialmente carbonizadas, tais como carvão e material grafitico e partículas de fuligens condensadas na fase gasosa”. Nessa definição é importante acrescentar, como precursores do carbono pirogênico, todos os materiais orgânicos, sintéticos ou naturais. por conseguinte, tanto carvão, grafite e fuligem de materiais carbonáceos são considerados como carbono pirogênico, sendo essa uma forma altamente recalcitrante de carbono orgânico e, assim, embora sofra alguma degradação nos solos (Bird et al., 1999) e no ambiente, sua incorporação neste é de suma importância para o seqüestro de carbono (Schmidt & Noack, 2000; Sombroek et al., 2003).

Substâncias húmicas

A fração orgânica do solo representa um sistema complexo, composto de diversas substâncias, sendo sua dinâmica determinada pela incorporação de material orgânico (quer seja carbonizado ou não) e pela transformação deste pela ação de diferentes grupos de microrganismos, enzimas e da fauna do solo, além de fatores abióticos tais como: temperatura, irradiação solar e reações químicas.

A matéria orgânica do solo, excetuando os organismos vivos, constitui-se de uma mistura de compostos vegetais e animais em vários estágios de decomposição, além de substâncias orgânicas sintetizadas química e biologicamente. Esse material complexo pode ser dividido em substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas) e não húmicas (proteínas, aminoácidos, polissacarídeos, ácidos orgânicos de baixa massa molar, ceras e outros). Esses compostos são fortemente associados e não totalmente separados um dos outros.

As substâncias não húmicas pertencem a grupos bem conhecidos da química orgânica e suas características físicas e químicas são assaz difundidas. Tais substâncias, Geralmente, correspondem aos compostos facilmente degradados por microorganismos, tendo, normalmente, tempo curto de vida nos solos e sedimentos. Por sua vez, as substâncias húmicas são os maiores constituintes da fração orgânica dos solos, sedimentos e águas, ocorrendo praticamente em todos os ambientes terrestres e aquáticos. Surgem da degradação de resíduos de plantas e animais e da atividade sintética de microorganismos (Kononova, 1982). As substâncias húmicas são compostos orgânicos macromoleculares (Schulten & Schnitzer, 1993) ou estruturas supramoleculares (Piccolo et al., 1996), com massa molar aparente variando de poucas centenas a diversos milhares de unidades de massa atômica. Elas diferem de biopolímeros tanto por sua estrutura, quanto por sua longa persistência no solo (Sposito, 1989; Stout et al., 1995). Elas são amorfas, de cor escura, parcialmente aromáticas, principalmente hidrofílicas e quimicamente complexas. Comportam-se como materiais polieletrólitos (Schnitzer e Khan, 1978), ou seja, quando dissociadas em solução, não apresentam uma distribuição uniforme de cargas positivas e negativas na solução, mas sim com íons de carga oposta à “macromolécula” ligados a ela e íons de mesma carga difundidos na solução.

As substâncias húmicas podem ser fracionadas por critérios de solubilidade a diferentes valores de pH, sendo os ácidos fúlvicos solúveis a qualquer pH, os ácidos húmicos solúveis apenas em meio alcalino e as huminas insolúveis a qualquer valor de pH, essas últimas são o resíduo orgânico do solo após a extração da matéria orgânica por NaOH (Stevenson, 1994).

Efeitos do Fogo

No solo

As queimadas, em sistemas florestais, freqüentemente exercem importantes efeitos sobre a fertilidade dos solos (Wardle et al., 1998; Kleinman et al., 1995), incluindo o aumento da decomposição da matéria orgânica mais lábil com o conseqüente aumento da disponibilidade de cátions e do pH (Tamm, 1991).

Depois das queimadas, a liberação de nutrientes da biomassa pode torná-los disponíveis para as culturas, favorecer as perdas deles por volatilização e lixiviação ou mantê-los ligados a complexos altamente recalcitrantes (Ramakrishnan, 1992). Esses resultados são altamente dependentes da intensidade da queima, que pode ser o mais importante fator a influenciar a fertilidade do solo (Andriesse, 1987).

A importância das cinzas, como fonte de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em solo, tem sido reportada na literatura. Seu efeito no aumento do pH do solo e no suprimento de nutrientes foi mencionado por Sanchez et al. (1983). Entretanto, esse efeito sobre a fertilidade é curto, haja vista que, após alguns cultivos, a disponibilidade de nutrientes diminui, advindo daí a necessidade do uso de fertilizantes para a manutenção da fertilidade do solo.

Fölster (1986) estimou que a serrapilheira e cinzas contribuem com 50-80% da fertilidade dos solos sob florestas tropicais. Essa percentagem diminui no cerrado e em pastagens (Nye & Greenland, 1960).

A queima também favorece o aumento do pH e a diminuição da saturação de alumínio, o que é um benefício agrônômico em solos ácidos (Kleinman et al., 1995). Nem todos os nutrientes são imediatamente liberados após a queima, porque muitos deles permanecem ligados às cinzas e à matéria orgânica do solo, e só são disponibilizados após a decomposição desses materiais.

Apesar desses benefícios, a queimada pode promover a degradação dos solos. Por exemplo, quanto maior é a temperatura da queima maior é a volatilização do nitrogênio e sua perda para a atmosfera (Andriesse, 1987). Enxofre e carbono são também volatilizados durante a queima (Christanty, 1986). E assim altas temperaturas levam à perda da matéria orgânica das camadas mais superficiais dos solos (Andriesse & Koopmans, 1984).

Em solos de baixa fertilidade natural, a perda da matéria orgânica queimada e daquela posteriormente transportada por erosão leva à diminuição da capacidade de troca catiônica (CTC) (Driessen et al., 1976), o que se torna um grande problema para a exploração agrícola em áreas tropicais, onde a maior parte da CTC dos solos é devida à matéria orgânica. Nessa situação, há necessidade de aporte de insumos para a obtenção de rendimentos satisfatórios.

Outrossim as queimadas removem a cobertura do solo, expondo-o aos efeitos das chuvas, a erosão eólica e ao impacto direto da radiação solar. Essa exposição pode resultar no encrustamento e selamento superficiais dos solos, na volatilização de nutrientes, e por fim em erosão hídrica e eólica (Van Wambeke, 1992). Mudanças físicas são também iniciadas, incluindo a dessecação do solo via evaporação (Uhl et al., 1981), alteração da textura (Ahn, 1974), e a deterioração da estrutura do solo (Christanty, 1986). Finalmente, a queima influencia a natureza da sucessão ecológica, por prejudicar e destruir sementes e sistemas de propagação vegetativa, além de criar condições favoráveis à regeneração de espécies invasoras (Seibert, 1990).

Na matéria orgânica do solo

O efeito do fogo sobre a matéria orgânica do solo é altamente dependente, entre outros fatores, do tipo de fogo e da intensidade deste, do tipo de solo e umidade deste e da natureza do material carbonizado (González-Pérez et al., 2004). Knicker et al. (1996) postularam que, para se executar um

estudo sistemático sobre o efeito do fogo na matéria orgânica do solo, deveria ser considerado que os resultados finais dependem, no mínimo, de três fatores: a) a entrada de plantas carbonizadas [mais genericamente: material carbonáceo]; b) as mudanças estruturais “in situ” dos compostos húmicos nativos durante a queimada e c) entradas e saídas, após a queimada, de espécies colonizadoras e dos processos erosivos favorecidos pela remoção da vegetação.

Almendros & Leal (1990) propuseram um modelo genérico para a dinâmica da matéria orgânica após intensa carbonização (Fig. 1).

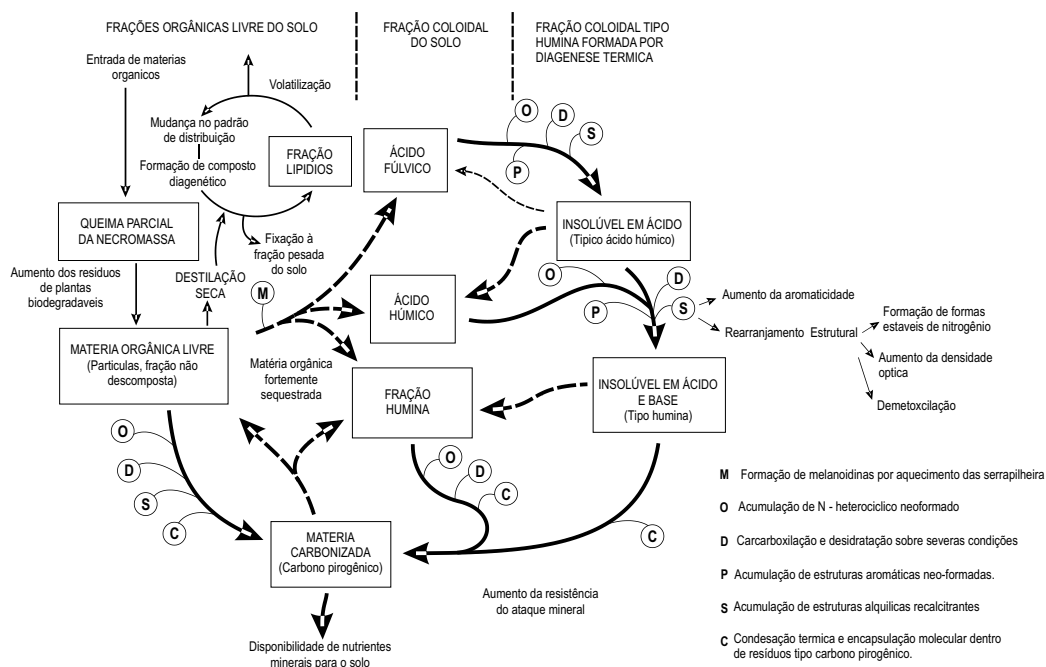


Fig. 1. Esquema mostrando a dinâmica da matéria orgânica dos solos quando afetada por queimadas severas. Adaptado de Almendros & Leal (1990).

Baseado no esquema proposto por Almendros & Leal (1990), pode-se inferir que os grupos funcionais oxigenados das moléculas húmicas são especialmente lábeis quando submetidos ao aquecimento.

Em queimadas naturais, parte da fração ácido húmico pode ser transformada em humina. Simultaneamente, parte da fração ácido fúlvico pode transformar-se em ácidos húmicos. Entradas adicionais de materiais de lignina alcalino-solúvel, herdados da combustão incompleta da biomassa em adição a compostos neoformados através da condensação de aminoaçúcares, contribuirá para a insolubilidade dos ácidos húmicos formados a partir dos ácidos fúlvicos (González-Pérez et al., 2004).

O fogo exerce impacto direto sobre o solo e um desses impactos é a queima da biomassa, fonte primária da matéria orgânica do solo (Zech & Guggenberger, 1996). À alta temperatura (200 a 450 °C), parte dos materiais orgânicos, vivos ou mortos, sofre a combustão completa resultando em CO₂, água e cinzas; e parte é carbonizada, levando à formação de fumaça, fuligem, carvão e cinzas. Devido ao fato do solo, quando seco, não ser um bom condutor de calor (Skjemstad & Graetz, 2003) e, em condições ambientais, a disponibilidade de oxigênio ser limitada, a combustão é incompleta, o que favorece uma produção mais eficiente de carbono pirogênico em detrimento da combustão completa.

Fumaça e partículas de fuligem podem deslocar-se por longas distâncias através da atmosfera (Crutzen & Andreae, 1990). Já o carvão e as cinzas normalmente permanecem onde foram formados devido ao grande tamanho das suas partículas; contudo, podem ser transportados posteriormente por processos erosivos.

O efeito do fogo sobre a evolução da matéria orgânica do solo tem sido comparado a processos naturais de evolução, tais como: humificação e polimerização (Almendros et al., 2003). Entretanto, existem diferenças qualitativas importantes entre a estrutura molecular de substâncias húmicas afetadas pelo fogo ou irradiação solar e aquelas formadas por processos de humificação, onde as atividades enzimática e microbiana predominam. Processos bioquímicos levam à formação de constituintes moleculares contendo grupos oxigenados enquanto que, na presença do fogo, grupos oxigenados externos são removidos, favorecendo o surgimento de materiais de reduzida solubilidade e propriedades coloidais (Almendros et al., 1992).

Estudos realizados em ecossistemas naturais, bem como em laboratório, simulando o efeito do fogo sobre o solo, têm demonstrado que o material piromórfico proveniente das queimadas consiste de substâncias macromoleculares relativamente inertes, principalmente derivadas da biomassa vegetal, e de natureza altamente aromática (Almendros et al., 1984, 1992; Knicker et al., 1996; Baldock & Smernik, 2002).

Golchin et al. (1997), estudando o efeito da vegetação e da queima na composição química da matéria orgânica em solos derivados de cinzas vulcânicas, observaram que, em pastagens onde ocorre queima anual, a matéria orgânica do solo e os ácidos húmicos continham grandes proporções de carbono aromático e carboxilas, enquanto o carbono alifático contribuiu com apenas 19% na composição da matéria orgânica do solo, dados que corroboram os obtidos por diversos outros autores (Zech et al., 1990; Glaser et al., 2001; González-Pérez et al., 2004; Kramer et al., 2004; Cunha, 2005; Novotny et al., 2006a,b). Quando as pastagens foram tomadas pela floresta, a natureza química da matéria orgânica do solo e dos ácidos húmicos mudou. As maiores mudanças constatadas pelos autores ocorreram dos primeiros 20 a 30 anos. Essas mudanças consistiram na diminuição do carbono aromático e aumento do carbono alifático. Em solos sob floresta nativa, a matéria orgânica do solo apresentou natureza altamente alifática, onde o C-alifático contribuiu com 35% do carbono total desses solos.

De modo geral, mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo fogo ou calor levam à definição de “húmus piromórfico” (González-Pérez et al., 2004): “material composto de substâncias macromoleculares reorganizadas, apresentando fraca propriedade coloidal e alta resistência à degradação microbiana”, conforme demonstrado em experimentos de laboratório, com amostras aquecidas tanto natural quanto artificialmente (Almendros et al., 1984). Dessa forma, durante a queima da biomassa, uma considerável reorganização das formas de carbono ocorre, e formas de carbono orgânico resistente à oxidação e refratário, com longos tempos de residência, incluindo o carbono pirogênico, são formadas (Schulze et al., 2000).

Considerando que a formação do carbono pirogênico depende da volatilização do carbono exposto ao fogo (carbono volatilizado/carbono exposto CV/CE), Kuhlbusch et al. (1996) investigaram a formação deste material refratário em queima de pastagem em condições de campo e de laboratório em contêineres (Fig. 2).

Na Figura 2 pode-se observar o aumento da razão black carbon (carbono pirogênico)/carbono exposto com o aumento do carbono volatilizado (CV) pelo fogo. Esta conversão diminui até o ponto onde todo carbono é volatilizado. Os autores observaram que a máxima conversão determinada, tanto em estudo de campo quanto no de laboratório, foi de 1,3 e 1,8 respectivamente.

Baseados nesses fatores de conversão e em dados reportados por Fearnside et al. (1993), Kuhlbusch & Crutzen (1995) estimaram a taxa anual de formação de carbono pirogênico, Tabela 1.

Na Tabela 1, adaptada de Kuhlbusch & Crutzen (1995), observa-se que a maior taxa de carbono pirogênico no resíduo, após exposição do carbono à volatilização, foi obtida com a mudança no uso da terra, seguida pela retirada permanente da floresta.

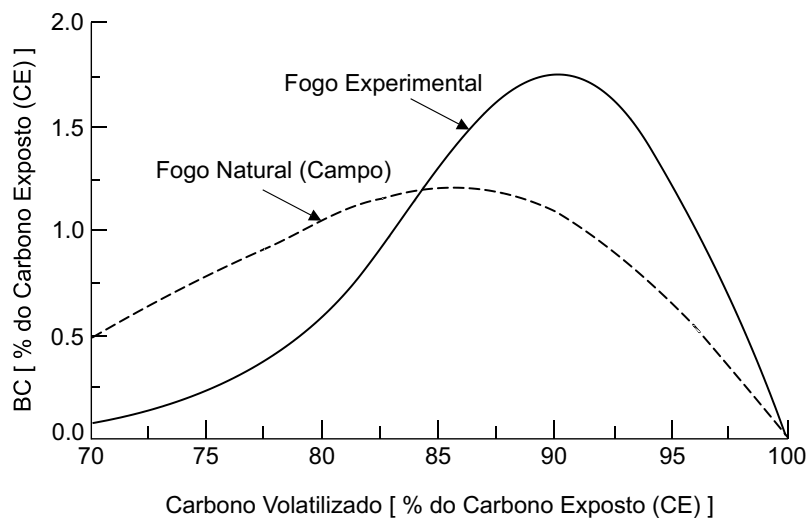


Fig. 2. Formação de black carbon (carbono pirogênico) em função da volatilização do carbono. Adaptado de Kuhlbusch et al. (1996).

Tabela 1. Estimativa global de formação de carbono pirogênico no resíduo.

| Fonte | Carbono exposto (CE) | Fator de conversão | Carbono pirogênico no resíduo |
|-----------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------|
| | Tg C ano ⁻¹ | BC/CE (%) | Tg C ano ⁻¹ |
| Mudança no uso da terra | 1000 – 2000 | 1,5 – 3,0 | 15 – 60 |
| Desflorestamento permanente | 500 – 1400 | 1,5 – 3,0 | 8 – 42 |
| Queimadas em savanas | 400 – 2000 | 1,0 – 2,0 | 4 – 40 |
| Combustão da madeira | 300 – 600 | 2,5 – 3,5 | 8 – 21 |
| Resíduos agrícolas | 500 – 800 | 1,0 – 2,0 | 5 – 16 |
| Total | 2700 - 6800 | - | 40 - 179 |

BC/CE: black carbon (carbono pirogênico)/carbono exposto.
Fonte: adaptado de Kuhlbusch & Crutzen (1995)

A formação de carbono pirogênico a partir de materiais vegetais também libera oxigênio (1 mol C na planta → 1 mol de carbono pirogênico + 1,9 moles de O). Uma estimativa da liberação de oxigênio, baseada no registro mais antigo de carvão (340 milhões de anos BP) e assumindo uma média de formação de carbono pirogênico de 10%, leva à liberação de oito vezes mais O2 que os conteúdos atmosféricos atuais (Kuhlbusch, 1999).

Nas Substâncias Húmicas

Durante grandes queimadas, ocorrem consideráveis rearranjos de formas de carbono, e formas de carbono orgânico, resistentes à oxidação e refratários, tais como carbono pirogênico, são formadas (Schulze et al., 2000).

A ocorrência de queimadas em ecossistemas florestais tem efeitos duradouros tanto na composição microbiana, quanto na matéria orgânica do solo (González-Pérez et al., 2004). As alterações de ecossistemas naturais provocadas pelo fogo afetam a transformação da matéria orgânica e conseqüentemente toda a dinâmica do carbono no solo.

Segundo Seiler & Crutzen (1980), a queima da biomassa leva a uma significativa produção de materiais vegetais carbonizados, e o aquecimento da matéria orgânica do solo resulta em considerável aumento na aromaticidade da matéria orgânica remanescente, em detrimento de grupos carboxílicos e estruturas alifáticas (Almendros et al., 1992).

Almendros & Leal (1990) modelaram e estudaram em detalhes as possíveis transformações exercidas pelo fogo sobre as frações ácido húmico e ácido fúlvico do solo e observaram severas modificações, principalmente nas propriedades de solubilidade. Nos estágios iniciais, metade dos ácidos húmicos foi rapidamente transformada em material molecular insolúvel em meio alcalino, insolubilidade que se tornou maior à medida que aumentou o estágio de aquecimento. Similar comportamento foi observado para a fração ácido fúlvico, que primeiro foi transformada em moléculas insolúveis em meio ácido (como ácidos húmicos) e em seguida em substâncias moleculares insolúveis em meio alcalino (como a humina), conforme Figura 3.

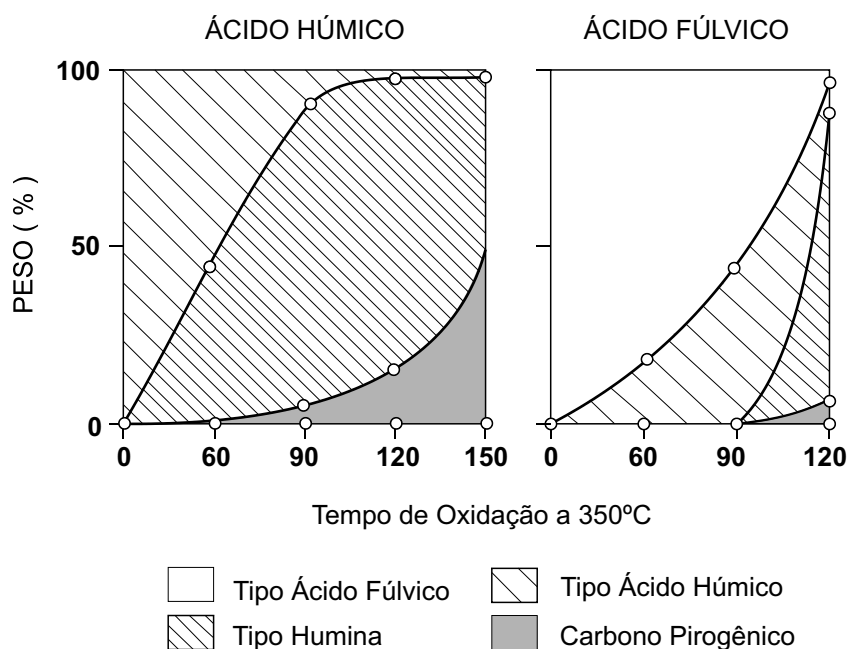


Fig 3. Transformação progressiva de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos em função do aumento da temperatura em condições controladas de laboratório. Os dados são expressos como percentagem do peso final. Adaptado de Almendros & Leal (1990).

Os autores também observaram, após oxidação alcalina da fração ácido húmico e fúlvico com permanganato, que uma quantidade variável de resíduos negros não oxidados permaneceu. Esses resíduos foram caracterizados como carbono pirogênico após caracterização química e espectroscópica.

As principais modificações observadas por Almendros & Leal (1990) foram na solubilidade dos materiais, estando esta relacionada às mudanças na composição elementar das frações húmicas. O aquecimento diminuiu a razão H/C, sugerindo um aumento na aromaticidade das frações húmicas, e uma diminuição da razão O/C, indicando uma substancial perda de grupos funcionais contendo oxigênio. Desidratação e descarboxilação foram observadas após a queima, o que pode explicar as alterações progressivas nas propriedades coloidais dos solos afetados por queimadas (González-Pérez et al., 2004).

Em função do aquecimento progressivo de ácidos húmicos, Gonzáles-Pérez et al. (2004) observaram, por análise de ressonância magnética nuclear de ^{13}C (^{13}C RMN), uma queda substancial de grupos alifáticos e O-alifáticos e grupos carboxílicos. Entretanto, grupamentos aromáticos aumentaram com o tempo de aquecimento (Fig. 4).

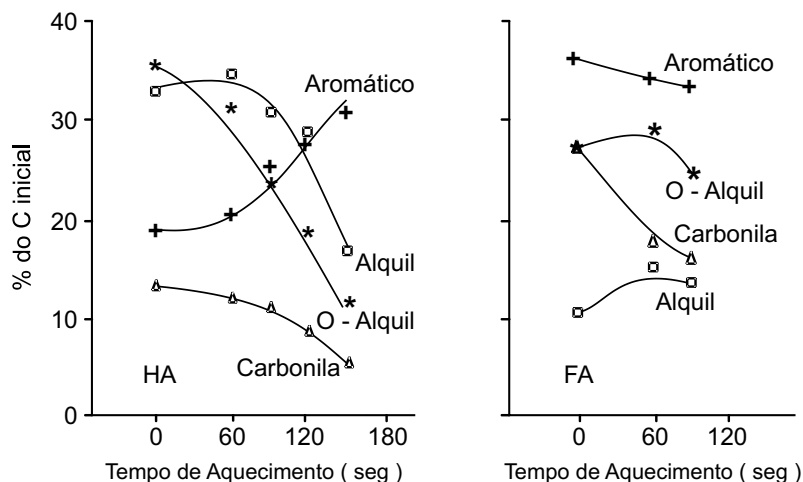


Fig. 4. Mudança nos diferentes tipos de carbono detectado por ^{13}C RMN de ácidos húmicos como resultado do aquecimento. As percentagens dos diferentes tipos de carbono foram calculadas em termos de perdas de carbono sob condições de laboratório. Adaptado de Gonzáles-Pérez et al. (2004).

Durante a queima de materiais orgânicos, aumento na aromaticidade das frações húmicas também foi observado por Almendros et al. (1988, 1992). Constatou-se que esse aumento não é causado somente por um enriquecimento seletivo de componentes aromáticos resistentes ao aquecimento, mas principalmente por reações de neoformação endotérmica envolvendo prévia desidratação de carboidratos, aminoácidos e cadeias alquílicas não saturadas (Golchin et al., 1997).

Do acima exposto, fica claro que o aumento da aromaticidade das substâncias húmicas devido à queima deve-se não apenas ao enriquecimento seletivo de componentes aromáticos, por conta da oxidação de materiais mais lábeis, mas também por neoformação de componentes aromáticos a partir de alterações dos componentes menos recalcitrantes.

Estudando as substâncias húmicas de solos da Amazônia, observou-se (Cunha, 2005; Novotny et al., 2006), por análise de ^{13}C RMN, que os ácidos húmicos originados dos solos antrópicos, com elevado teor de carbono pirogênico, contiveram maior proporção de estruturas aromáticas que os ácidos húmicos extraídos de solos que não foram submetidos a queimas intensivas ou que não receberam material carbonizado em grandes quantidades no passado (solos não antrópicos).

Observou-se também que, entre os diferentes grupos, os ácidos húmicos em solos não antrópicos são mais ricos em grupamentos alifáticos, metoxílicos e em estruturas de polissacarídeos. As maiores concentrações de carbono aromático, incluindo também carbono fenólico, foram observadas nos ácidos húmicos provenientes dos solos antrópicos ricos em carbono pirogênico.

A natureza dos ácidos húmicos estudados foi mais alifática que a observada em ácidos húmicos de regiões temperadas (Chen & Pawluk, 1995). A maior alifaticidade dos ácidos húmicos em solos de regiões tropicais e subtropicais, provavelmente, está relacionada à maior estabilização de estruturas alifáticas em solos com predomínio de minerais de carga variável, devido à forte interação com a matriz mineral, além da ciclagem mais rápida da MOS (Oades et al., 1989; Parfitt et al., 1997). Esses resultados são compatíveis com as variações observadas por Ussiri & Johnson (2003) para ácidos húmicos de solos florestais.

Um importante parâmetro que pode ser obtido de análise por ^{13}C RMN é o grau de aromaticidade, que é a proporção, em porcentagem, de grupos aromáticos (arila e O-arila) na composição dos ácidos húmicos (Baranciková et al., 1997; Hatcher et al., 1981; Pérez et al., 2004). Os resultados dessa análise indicaram que os ácidos húmicos extraídos dos solos antrópicos ricos em carbono pirogênico têm grau de aromaticidade mais elevado (36%) em relação aos dos solos não antrópicos (25%). Estes estão de acordo com valores médios observados para a maioria das substâncias húmicas, que é de aproximadamente 35% (Malcolm, 1989). A menor concentração do carbono aromático nos ácidos húmicos originados dos solos não antrópicos foi acompanhada de uma maior percentagem do carbono alifático em comparação aos solos antrópicos.

No que diz respeito ao efeito das queimadas sobre a estrutura orgânica de materiais vegetais (madeira pesada e madeira leve) submetidos à queima, Czimeczik et al. (2002) informaram que a carbonização a $340\text{ }^{\circ}\text{C}$ resultou em perda de estruturas O-alifáticas e di-O-alifáticas, e um grande aumento do carbono aromático. Foi observado pequeno aumento na intensidade de grupos fenólicos e largo sinal na região alifática, incluindo metil e pequenas cadeias alifáticas ligadas ao carbono aromático.

Com o aumento da temperatura, a característica aromática dos materiais carbonizados aumentou (Czimeczik et al., 2002), enquanto carbonos fenólicos e estruturas alifáticas diminuíram. Do exposto acima, percebe-se que a temperatura é o fator de controle na determinação da composição qualitativa dos materiais carbonizados.

González-Vila et al. (2002) reportaram a formação de carbono orgânico refratário em solos naturais afetados por fogo, utilizando estudos de pirólise e ^{13}C RMN. Os produtos da pirólise liberados pelo solo, que não sofreram efeito de queimada (controle), incluíram uma ampla variedade de moléculas provenientes de carboidratos, lignina, lipídeos e proteínas. No solo afetado pelo fogo, a maioria das moléculas encontradas no solo controle estava ausente e a dominância de material aromático altamente refratário (não pirolisável) foi observada.

Em resumo, o fogo afeta grupos funcionais contendo oxigênio nas substâncias húmicas. Parte do ácido húmico formado pode ser transformada em humina. Simultaneamente, parte dos ácidos fúlvicos pode transformar-se em ácidos húmicos. A entrada adicional de materiais lignínicos alcalino-solúveis provenientes da combustão incompleta da biomassa, juntamente com produtos formados a partir da condensação de açúcares redutores e grupos aminados provenientes de aminoácidos e peptídeos com posterior formação de melanoidinas (reação de Maillard), podem contribuir para que os ácidos húmicos formados passem para uma forma insolúvel (humina).

Formação do Carbono Pirogênico - O Modelo Contínuo de Combustão

Nesse modelo, o carbono pirogênico é um contínuo de produtos da combustão incompleta, abrangendo desde material orgânico levemente carbonizado até fuligem e carbono pirogênico grafitico altamente condensado e recalcitrante. Todos os componentes desse contínuo têm um alto conteúdo de carbono, são quimicamente heterogêneos e predominantemente aromáticos (Masiello, 2004).

A aromaticidade do carbono pirogênico aumenta conforme o aumento da temperatura ou tempo de carbonização. A espectroscopia de ressonância magnética nuclear de ^{13}C na região do infravermelho tem mostrado que a carbonização da madeira leva à perda de sinais atribuídos à celulose (carboidratos) e lignina, e ao ganho de sinais nas regiões aromáticas e O-aromáticas (Baldock & Smernik, 2002).

No outro extremo do contínuo encontra-se a fuligem, cuja formação é fundamentalmente diferente do carvão. O carbono pirogênico, na forma de fuligem, forma-se durante a queima, pela condensação de pequenas partículas voláteis na fase gasosa, que são recombinadas por reações de radicais livres, formando estruturas aromáticas condensadas com diferentes números de anéis. O resultado dessas reações é uma variedade de compostos, incluindo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) e materiais altamente grafitizados (Schmidt & Noack, 2000).

Masiello (2004), em sua revisão da literatura, afirma que, embora os integrantes do contínuo de combustão compartilhem a mesma origem e apresentem estrutura básica semelhante (aromáticas condensadas e deficientes em hidrogênio), há importantes diferenças quanto a sua morfologia, tamanho e reatividade.

O carvão guarda características físicas e químicas de seus precursores de tal forma que é possível identificar o composto orgânico que lhe deu origem. Já na fuligem, que é formada da condensação de compostos voláteis simples, essa identificação não é possível, exceto eventualmente por técnicas isotópicas tais como espectroscopia de massa ($\delta^{13}\text{C}$). Visto que medidas de $\delta^{13}\text{C}$ em materiais vegetais artificialmente queimados mostraram que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para o carbono pirogênico podem ser relacionados ao tipo da vegetação submetida à queima (Bird & Gröcke, 1997).

Normalmente as partículas de carvão são muito maiores que as de fuligem, o que limita em muito seu transporte, destarte, a sua presença indica proximidade do local do fogo. Por sua vez, as partículas de fuligem de escala micrométrica podem permanecer em suspensão na atmosfera por meses e, desse modo, serem transportadas a longas distâncias.

A reatividade do carbono pirogênico também varia no contínuo de combustão; contudo, a decomposição do carvão é muito mais rápida que a da fuligem, quando expostos a oxidantes químicos em condições de laboratório. Experimentos de campo também indicam que a labilidade do carvão, em condições ambientais, é muito maior que a da fuligem, devido à degradação biológica e foto-oxidação (Masiello, 2004).

A quantidade e tipo de carbono pirogênico produzido pelo fogo não somente é influenciada pelo tipo de combustível, como também pelas condições, intensidade e duração da queima (Kuhlbusch et al., 1996). Conseqüentemente, a quantidade de carbono pirogênico produzida e a sua composição podem variar bastante. A produção de carbono pirogênico tem aumentado durante os últimos séculos, devido às grandes queimadas de florestas e à queima de combustíveis fósseis pela indústria. Esta última é uma importante fonte de carbono pirogênico, principalmente, em países altamente industrializados (Schmidt & Noack, 2000), como Estados Unidos, Japão e alguns países da Europa (Crutzen & Andreae, 1990).

Apesar da importância do fogo na formação do carbono pirogênico, existe muito pouca informação sobre as taxas de produção de carvão em eventos de queimas naturais (Skjemstad & Graetz, 2003).

Métodos Usados para Estudos do Carbono Pirogênico em Solos

As técnicas disponíveis para o estudo do carbono pirogênico em solos incluem vários métodos: ópticos (Skjemstad et al., 1996; Golchin et al., 1997); microscópicos (Poirier et al., 2000; Skjemstad et al., 2002); térmicos (Gustafsson & Gschwend, 1998; Benites et al., 2005; Cunha, 2005); químicos (Wolbach & Anders, 1989; Glaser et al., 1998); espectroscópicos (Knicker et al., 1996; Novotny et al., 2006a,b) e; utilização de marcadores moleculares (Glaser et al., 1998; Elias, 2001).

Quantificação do carbono pirogênico

A quantificação do carbono pirogênico em solos tem sido tarefa difícil, e diversos métodos têm sido utilizados para obter medidas dos conteúdos de carbono pirogênico. Um método padronizado e aceitável para medidas de carbono pirogênico não existe, apesar da grande necessidade da determinação dos conteúdos em solos bem como do entendimento do ciclo e fluxos do carbono na natureza (Kuhlbusch, 1998).

Smith et al. (1995) utilizaram pela primeira vez a espectroscopia de infravermelho no estudo do carbono pirogênico. Mais recentemente os estudos com carbono pirogênico iniciam-se com o isolamento desse componente material dos materiais de solos e sedimentos, por processos de oxidação que objetivam eliminar toda a matéria orgânica deixando apenas o carbono pirogênico. As amostras são usualmente desmineralizadas por tratamentos com HF/HCl antes da oxidação (Derenne & Largeau, 2001).

Smith et al. (1995) utilizaram pela primeira vez a espectroscopia de infravermelho no estudo do carbono pirogênico. Mais recentemente os estudos com carbono pirogênico iniciam-se com o isolamento desse componente material dos materiais de solos e sedimentos, por processos de oxidação que objetivam eliminar toda a matéria orgânica deixando apenas o carbono pirogênico. As amostras são usualmente desmineralizadas por tratamentos com HF/HCl antes da oxidação (Derenne & Largeau, 2001).

No que diz respeito aos reagentes utilizados para a oxidação, tem sido utilizado mais freqüentemente o ácido nítrico concentrado a quente, ácido sulfúrico/dicromato de potássio, peróxido de hidrogênio (Bird & Gröcke, 1997; Verado, 1997) e o hipoclorito de sódio (Simpson & Hatcher, 2004a,b). Oxidações térmicas são executadas a 340°C por 2h ou 375°C por 24h em atmosfera de nitrogênio (Kuhlbusch & Crutzen 1995), e foto-oxidação envolvendo irradiação UV de alta energia (Skjemstad et al., 1996). Após a oxidação, os resíduos são caracterizados por análise elementar, ressonância magnética nuclear e colorimetria. Para a quantificação do carbono pirogênico, o uso de balanço de massa e a combustão em CO₂ catalisada pelo Cr₂O₃ têm sido também utilizados (Verado, 1997). Utilizando a oxidação parcial do carbono pirogênico com ácido nítrico Glaser et al. (1998) quantificaram os produtos resultantes (ácidos benzenocarboxílicos) por cromatografia gasosa.

Trabalhando com comparação de métodos, Schmidt et al. (2001) testaram diversas formas de oxidação térmica, oxidação química por foto-oxidação e oxidação química com marcador molecular em solos da Austrália. Eles mostraram que a eliminação de partículas minerais antes da oxidação térmica ou química reduz em muito a quantidade de resíduos depois da oxidação, tornando o tratamento mais eficiente. Os autores observaram que os valores obtidos para o carbono pirogênico foram bastante diferentes entre os diversos métodos estudados. Isso mostra a dificuldade em se averiguar os conteúdos de carbono pirogênico em solos.

A natureza heterogênea da matéria orgânica e a ampla variedade de compostos que estão envolvidos na definição de carbono pirogênico (carvão, fuligem e outros produtos provenientes da combustão incompleta da biomassa) são também a principal razão para a ampla variação nos valores de carbono pirogênico reportados na literatura. A complexidade e heterogeneidade química do carbono pirogênico torna difícil um método que abranja todos os compostos do contínuo de combustão sem sobrestimar ou subestimar algum desses compostos. As principais fontes de erros são: a transformação de compostos não derivados da combustão em pirogênicos, principalmente pelos métodos oxidativos e térmicos; inabilidade na detecção de carbono pirogênico e a detecção de material não pirogênico como se o fosse (Masiello, 2004).

Segundo Schmidt et al. (2001) e Simpson & Hatcher (2004a,b), apesar de se utilizar diferentes técnicas para a avaliação do carbono pirogênico, tem sido especulado que muitos dos valores publicados são superestimados devido ao fato de que os próprios processos de oxidação envolvidos nas análises podem levar à formação de “carbono pirogênico”.

Quando a quantidade de carbono pirogênico foi determinada através da quantidade de ácido benzenocarboxílico ou após foto-oxidação, os valores observados foram muito maiores que os obtidos através da oxidação química e térmica, levando dessa forma a uma superestimação do carbono pirogênico por esses métodos.

Entretanto, os baixos valores obtidos através da oxidação química e térmica podem refletir uma parcial destruição de partículas de carbono pirogênico, e, destarte, levar a uma subestimação das quantidades dessa forma de carbono (Derenne & Largeau, 2001). Visando a testar essa hipótese, Gustafsson et al. (2002) conduziram um estudo via oxidação térmica, utilizando compostos modelos com conteúdo conhecido de carbono pirogênico, mas encontraram problemas no método devido à determinação de valores elevados de carbono pirogênico em amostras sabidamente livres desses compostos.

A presença de outros compostos nos materiais submetidos à análise de carbono pirogênico tem sido o principal desafio para o isolamento dessa forma de carbono. Muitos dos métodos de oxidação por via úmida e métodos por oxidação térmica são baseados no fato de que a matéria orgânica natural é

completamente removida enquanto que o carbono pirogênico não é afetado pelos diferentes processos de oxidação. Vale ressaltar, conforme descrito anteriormente, que existe a possibilidade de alguma outra forma de carbono resistir a esses tratamentos (Schmidt et al., 2001), ou ocorrer a carbonização de estruturas originalmente não pirogênicas (Simpson & Hatcher, 2004a,b).

Outra técnica que tem sido utilizada é a foto-oxidação da amostra com luz ultravioleta com posterior análise do material por ressonância magnética nuclear (Schmidt et al., 1999; Skjemstad et al., 1999). Uma das principais desvantagens desse método é que a oxidação da matéria orgânica natural não é completa, e algumas correções são necessárias para se determinar o conteúdo de carbono pirogênico, além de ser uma técnica demorada e cara.

Como exemplo do acima exposto, em materiais de solos, sinais de lignina e compostos aromáticos sobrepõem-se aos sinais de carbono pirogênico em análise por ressonância magnética nuclear de ^{13}C . Essas interferências têm sido superadas através de correções espectrais, como o ajustamento das áreas dos picos baseado nas características dos sinais para lignina ou por uso de outros experimentos de ressonância magnética nuclear (Simpson et al., 2004).

Simpson et al. (2004) propuseram um método utilizando a ressonância magnética nuclear, que pode ser utilizado para obtenção de estimativas de carbono pirogênico sem a necessidade de ajustamento dos espectros. Tal método envolve oxidação química com hipoclorito de sódio para remover lignina e outras estruturas aromáticas. A remoção dos componentes que não são carbono pirogênico facilita a medida do carbono pirogênico no resíduo por ressonância magnética com polarização cruzada.

O uso da técnica de ressonância magnética nuclear ainda tem sido bastante discutido na ciência do solo, principalmente, no que diz respeito ao estudo do carbono pirogênico. A utilização da ressonância magnética nuclear de alto campo leva a complicações devido à ocorrência de bandas laterais quando a amostra é girada a baixa velocidade ou à perda seletiva de intensidade do sinal quando a amostra é girada a alta velocidade (Alemany et al., 1983).

Por sua vez, estruturas aromáticas altamente condensadas e desprovidas de prótons podem ser subestimadas com o uso da polarização cruzada. Nesse caso, experimentos como polarização direta e polarização cruzada com amplitude variável são necessários (Skjemstad et al., 1996; Novotny et al., 2006a,b).

A necessidade de utilização da amplitude variável nos experimentos de polarização cruzada com altas taxas de rotação decorre do fato de que as interações dipolares variam entre os diferentes grupos químicos que se pretende quantificar, devido às diferenças no acoplamento ^{13}C - ^1H e à mobilidade molecular. Como o efeito da rotação acaba sendo seletivo para os grupos com menor interação dipolar, tais como aqueles com maior mobilidade ou não protonados, torna-se necessária essa correção (Novotny, 2002).

Do exposto acima, pode-se concluir que, apesar das diversas técnicas disponíveis para análise do carbono pirogênico, muito ainda necessita ser estudado para a definição de uma técnica de uso universal, o que facilitaria a comparação e precisão dos resultados. Nesse caso, o uso de padrões para carbono pirogênico seria de grande importância para aferimento dos resultados.

Aspectos Morfológicos, Estruturais e Reatividade do Carbono Pirogênico no Ambiente

Morfologia

Morfológicamente, o carbono pirogênico é constituído por um empilhamento em camadas de unidades estruturais poliaromáticas e grafiticas, que exibem grandes diferenças em extensão e nível de organização. Entretanto, o carbono pirogênico não é necessariamente grafitico, e esse material, mesmo quando completamente amorfo, contém grandes quantidades de cadeias alifáticas além de um considerável conteúdo de oxigênio (Poirier et al., 2002).

Pequenas partículas aproximadamente esféricas (cerca de 50-100 nm de diâmetro), com uma típica estrutura concêntrica que lembra a “cebola,” originam-se da combustão de materiais pobremente oxigenados, como ceras de plantas superiores ou combustíveis fósseis. Por sua vez, partículas menos organizadas seriam derivadas da carbonização parcial de materiais ligno-celulósicos (Oberlin et al., 1980) (Fig.5).

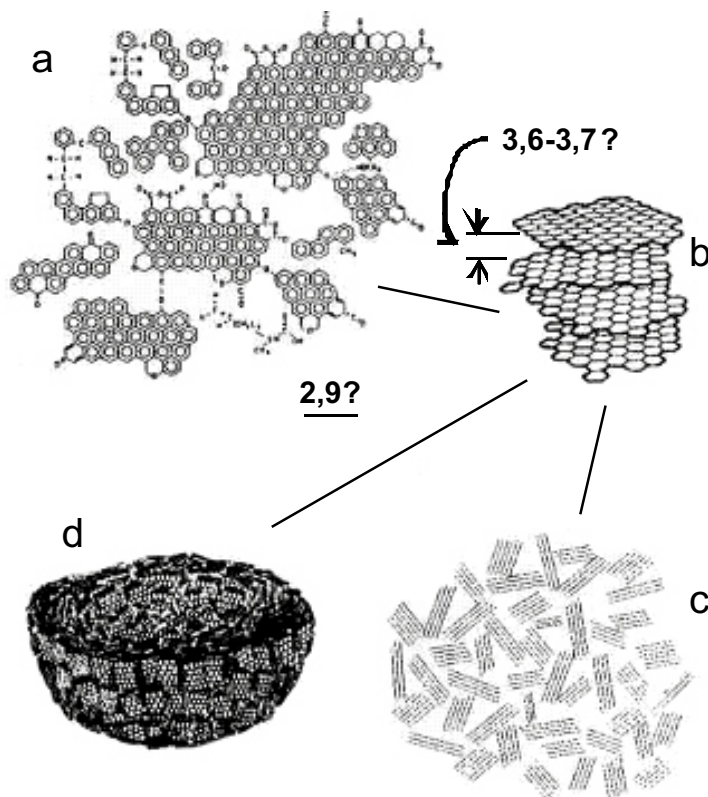


Fig. 5. Unidades estruturais básicas e as duas estruturas principais do carbono pirogênico: a) carbono pirogênico formado em laboratório, b) unidades estruturais básicas de três ou quatro camadas, c) unidades estruturais básicas consistindo de algumas camadas gráficas, e d) partículas do tipo “cebola” e camadas condensadas. Fonte: adaptado de Schmidt & Noack (2000).

Estudando aspectos morfológicos do carbono pirogênico por microscopia eletrônica, Skjemstad et al. (1996) concluíram que as feições observadas nos materiais estudados em solos dos Estados Unidos eram bastante semelhantes àqueles estudados em solos da Austrália por Skjemstad et al. (1999). As micrografias exibiram partículas maciças angulares com características semelhantes a materiais celulares de plantas. Os autores não puderam determinar a origem do carvão estudado devido ao fato de que o carvão formado por queimas em sistemas agrícolas não pôde ser diferenciado, pela técnica empregada, do carvão já existente e persistente no solo por centenas ou talvez milhares de anos (Fig. 6).

Nessas micrografias, os autores observaram muitas partículas grandes exibindo morfologia característica de estrutura do xilema de madeiras. Os aspectos de corrosão (rugosidade) observados nas partículas de carvão foram atribuídos à ação da foto-oxidação. Essas partículas de carvão podem variar consideravelmente em morfologia e tamanho (Fig. 5 e 6). A variação pode ser do tamanho de fragmentos de plantas (5 a 40 μm) a partículas de tamanho submicron, podendo, na microscopia eletrônica de varredura, dificultar a sua distinção morfológica em relação a da argila (Skjemstad et al., 1996).

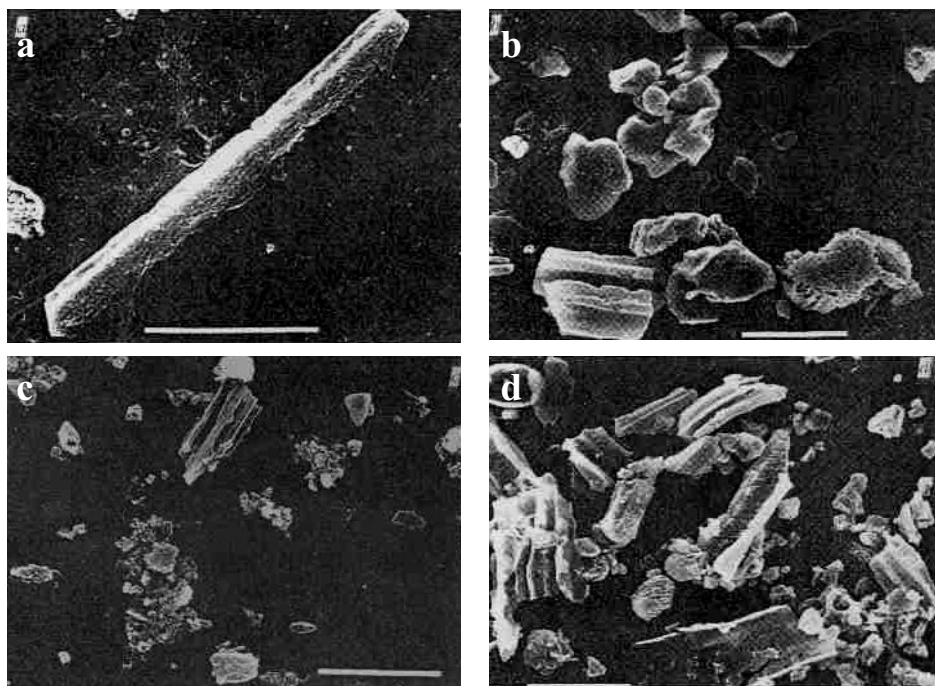


Fig. 6. Microscopia eletrônica de varredura de fragmentos de carbono pirogênico de: a) na fração argila e fração silte do solo; b-d) no solo. Todas as frações foram tratadas com ácido fluorídrico (HF) e foto-oxidadas por 4 h. As barras representam (a) 4 μm e (b-d) 20 μm . Fonte: Skjemstad et al. (1996).

Como já mencionado, o carbono pirogênico parece representar um contínuo de propriedades físicas e químicas de materiais carbonizados. Os diferentes métodos utilizados para análise do carbono pirogênico medem diferentes partes desse contínuo e podem produzir resultados discrepantes (Schmidt et al., 2001). Dessa forma, o carbono pirogênico pode exibir uma gama extensa de tamanhos de partículas e várias feições morfológicas que estão relacionadas ao material do qual se originou (Griffin & Goldberg, 1979) e ao processo de carbonização.

Partículas de carbono pirogênico depositadas na superfície dos solos são bastante sensíveis à erosão, e as partículas mais finas são facilmente transportadas pelo vento. Como resultado, somente partículas de tamanhos maiores (50 μm) são mais resistentes ao transporte (Ohta et al., 1986). Masiello & Druffel (1998). Schmidt & Noack (2000) detectaram partículas de carbono pirogênico em oceanos, transportadas dos continentes, e em sedimentos marinhos de vários períodos geológicos, respectivamente.

A persistência do carbono pirogênico, especialmente em solos, tem sido questionada devido ao fato de que processos de combustão podem produzir carbono pirogênico de baixa massa molar, que pode ser mobilizado e exportado dos solos para sistemas aquáticos (Czimczik et al., 2003).

Estrutura

A contribuição do carbono pirogênico à fertilidade do solo e à sustentabilidade dessa fertilidade é atribuída, principalmente, à sua composição e estrutura molecular. A gênese dessa matéria orgânica de alta estabilidade e reatividade é atribuída às transformações químicas e bioquímicas de resíduos carbonizados, resultantes de queima, natural ou induzida, da biomassa vegetal (Benites et al., 2005; Cunha, 2005; Novotny et al., 2006a).

Devido à oxidação parcial, as unidades aromáticas periféricas do carbono pirogênico contêm substituintes ácidos, principalmente carboxílicos (Glaser et al., 2002; Kramer et al., 2004; Novotny et al., 2006a,b), que explicariam os altos valores da CTC desses solos. Os componentes húmicos derivados do carbono pirogênico também apresentam altas aromaticidade e densidade de cargas (Zech et al., 1990; Cunha, 2005) e são caracterizados por apresentarem estruturas aromáticas condensadas, muitos grupos carboxílicos e pouco hidrogênio (Fig. 7) (Kramer et al., 2004; Novotny et al., 2006a).

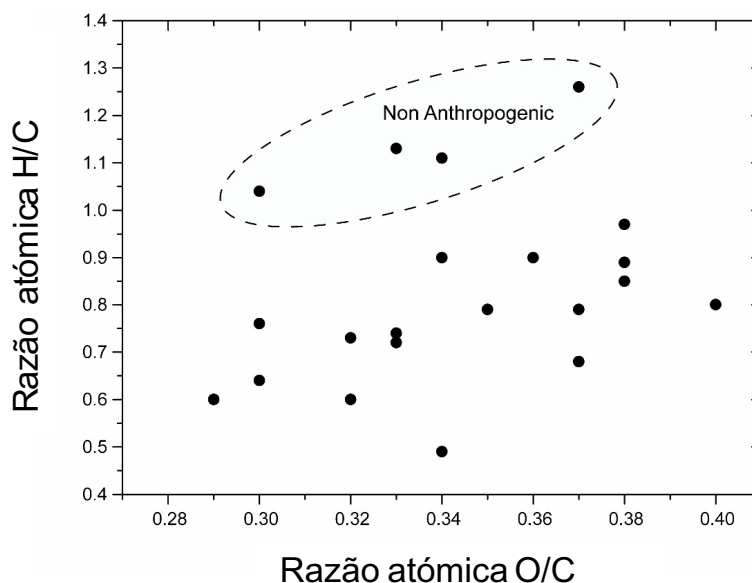


Fig. 7. Gráficos de Van Krevelen de ácidos húmicos extraídos de solos da Amazônia. Fonte: adaptado de Novotny et al. (2006a).

Exemplos de espectros de ressonância magnética nuclear de ^{13}C são dados na Figura 8. Nas amostras de ácidos húmicos provenientes de solos ricos em carbono pirogênico, na região aromática (109-143ppm), os sinais são alargados e livres de detalhes, e são mais intensos, tanto total (Fig. 8, esquerda) como arila substituída, ou seja, não protonada (Fig. 8, direita).

A persistência dos sinais a 21 e 30ppm nos espectros com defasagem dipolar (Fig. 8, espectros da direita), que mantém apenas os sinais de grupos não protonados e móveis, indica a presença de grupos CH_3 e CH_2 móveis de cadeia longa, respectivamente. O sinal do carbono metoxila, principalmente da lignina, é esperado a 56ppm, ele se sobrepõe com ressonâncias de carbono N-alquila com deslocamento químico na região de 46 - 60ppm. Esses sinais foram mais intensos nos ácidos húmicos provenientes de solos pobres em carbono pirogênico, indicando uma maior incorporação de resíduos de lignina e peptídeos em tais solos. Os experimentos de defasagem dipolar confirmaram a contribuição de grupos metoxila na região de 46-60ppm (Fig. 8, direita). Assim sendo, nessas amostras, os carbonos aromáticos da lignina contribuíram para os sinais e ombros na região do carbono arila e O-arila (Fig. 8, esquerda). Adicionalmente, a região alifática (alquila, metoxila, N-alquila e carboidratos) foi mais proeminente nas amostras provenientes de solos pobres em carbono pirogênico (Novotny et al., 2006a).

O sinal proeminente dos grupos carboxílicos (156-186ppm) indica o elevado grau de oxidação das amostras, sendo que, no caso das amostras pobres em carbono pirogênico, há uma maior contribuição dos grupos amida dos peptídeos. De forma semelhante, há uma maior contribuição de grupos metoxila da lignina no sinal O-arila dessas amostras. Portanto, além do conteúdo de grupos O-arila e carboxila/amida ter sido maior nas amostras provenientes de solos ricos em carbono pirogênico, o

conteúdo de grupos efetivamente ionizáveis (acidez fenólica e carboxílica) é ainda maior nessas amostras, assim como os conteúdos de grupos arila e arila substituída. Adicionalmente, parte do sinal do carbono carboxílico era associada ao grupo arila, indicando a presença de estruturas aromáticas carboxiladas, provavelmente originadas da oxidação periférica do carbono pirogênico. Essas estruturas, além de recalcitrantes, são reativas, o que as torna importantes não somente para o seqüestro de carbono atmosférico, como também para a manutenção da elevada fertilidade das Terras Pretas de Índio (Novotny, et al., 2006a).

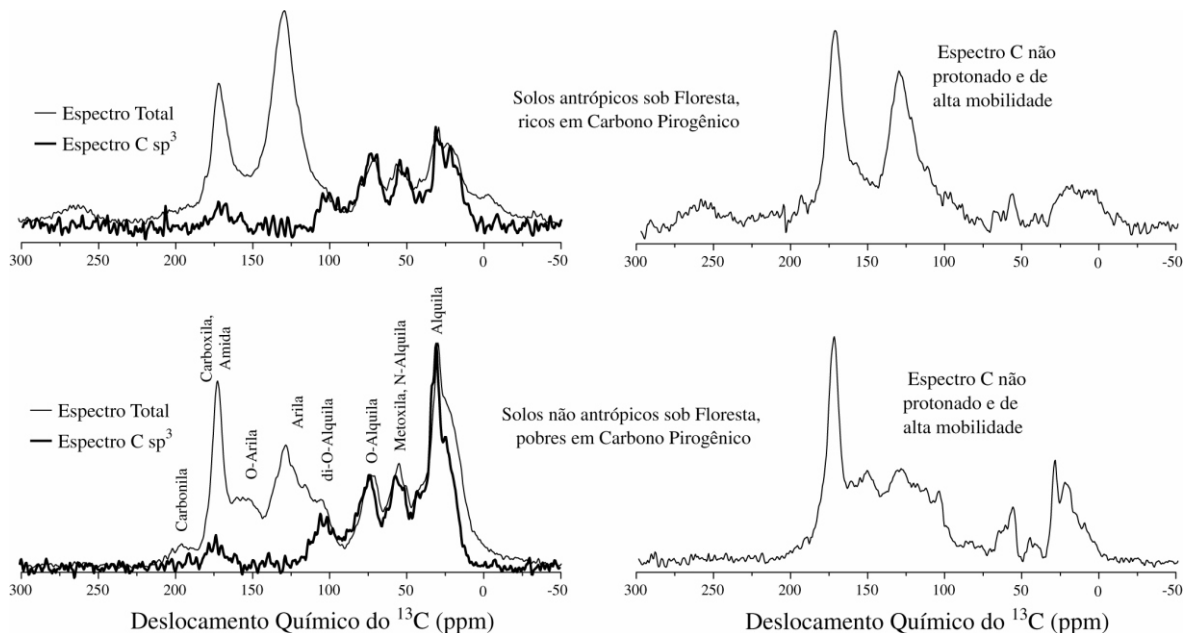


Fig. 8. Espectros de ressonância magnética nuclear de ^{13}C de ácidos húmicos extraídos de solos da Amazônia. Os espectros da direita apresentam os sinais de carbono não protonados (carbono aromático condensado) ou de alta mobilidade (CH_3 e CH_2 de cadeia longa). Em linha mais espessa são aqueles de carbono hibridizado sp^3 , indicando a sobreposição do sinal do carbono anomérico de carboidratos (sp^3) à região dos carbonos aromáticos (sp^2). Fonte: adaptado de Novotny et al. (2006a).

Assim sendo, os ácidos húmicos extraídos de solos ricos em carbono pirogênico, além de apresentarem uma maior recalcitrância, pelo maior conteúdo de grupos arila e arila substituída, provavelmente anéis aromáticos condensados, apresentaram um elevado conteúdo de grupos funcionais oxigenados ionizáveis e recalcitrantes (carboxila e fenila), enquanto grupos funcionais oxigenados dos solos adjacentes, pobres em carbono pirogênico, são principalmente lábeis e não ionizáveis (carboidratos, proteínas e lignina). Isso pode explicar a maior fertilidade e sustentabilidade dos solos ricos em carbono pirogênico (Novotny et al., 2006a).

Reatividade

O carbono pirogênico é altamente resistente à foto-oxidação e à oxidação térmica (Cunha, 2005 Fig. 9) e química (Skjemstad et al., 1996; Wolbach & Anders, 1989; Benites et al., 2005).

Apesar dessa resistência, com o tempo, o carbono pirogênico pode ser parcialmente oxidado, e grupos carboxílicos são produzidos na periferia da estrutura aromática condensada, aumentando a capacidade de troca (CTC) e a reatividade desse material nos solos (Glaser et al., 2001; Benites et al., 2005; Cunha, 2005; Novotny et al., 2006a,b). Haumaier & Zech (1995) evidenciaram que o carbono pirogênico gerado pela queima da biomassa pode ser convertido em ácidos húmicos e em carbono solúvel em água após oxidação. Esse tema será abordado em detalhes na próxima seção.

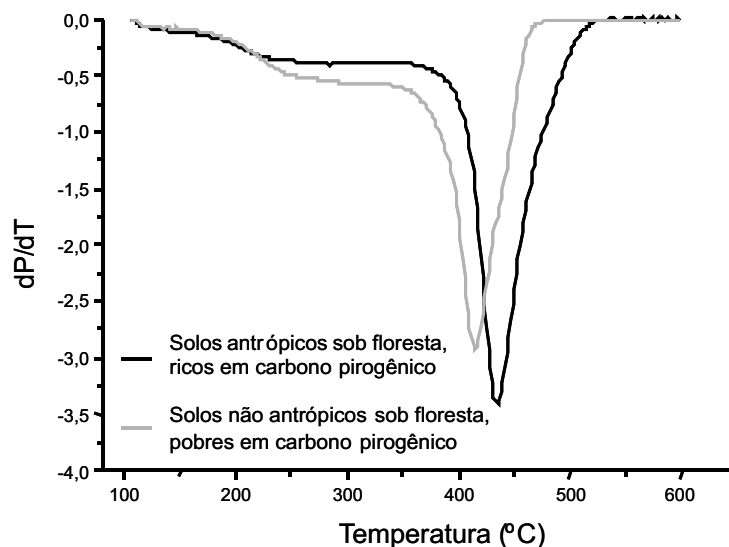


Fig. 9. Primeira derivada dos termogramas de ácidos húmicos extraídos de solos da Amazônia. Fonte: adaptado de Cunha (2005).

Segundo Goldberg (1985), se não existissem mecanismos para a decomposição do carbono pirogênico, todo carbono na superfície da terra seria convertido a essa forma dentro de um período de 100.000 anos. Esses mecanismos, provavelmente, são uma combinação de processos onde estão envolvidas reações de oxidação química e microbiana (Skjemstad et al., 2003).

A grande persistência da matéria orgânica do solo, atingindo séculos ou até milênios, pode ser devido à presença de carbono pirogênico (Skjemstad et al., 1999). A ocorrência de carvão em solos tem sido relatada na literatura científica (Sombroek, 1966; Glaser et al., 2000; Skjemstad et al., 1999), indicando que resíduos da queima de materiais orgânicos provavelmente contribuam para a estabilidade da matéria orgânica nesses solos (Zech et al., 1990; Glaser et al., 2000). Altos conteúdos de material orgânico recalcitrante encontrado em solos antrópicos (Zech et al., 1990) podem ser atribuídos à utilização de resíduos de combustão e até mesmo ao uso de cinzas (fuligem) como fertilizantes.

Entretanto, a estabilidade do carbono pirogênico nos solos é motivo de grandes debates. Esses materiais são considerados altamente resistentes porque: a) podem resistir à forte oxidação e à foto-oxidação (Skjemstad et al., 1996); b) foram sistematicamente detectados em perfis de solos mediterrâneos com idade média determinada pelo ^{14}C de 2000 anos (Thinon, 1978) e; c) ocorrem em um grande número de solos, sedimentos recentes e também em sedimentos antigos relacionados ao período Devoniano (Glaser et al., 1998; Schmidt & Noack, 2000).

Tem sido relatado na literatura que somente uma degradação limitada do carbono pirogênico pode ocorrer por degradação química e microbiana (Seiler & Crutzen, 1980). Dessa forma, a formação de carvão pode contribuir para o compartimento de carbono aromático quimicamente mais estável nos solos (Haumaier & Zech, 1995; Skjemstad et al., 1996).

A formação de carvão durante a queima da vegetação pode converter o compartimento de carbono potencialmente ativo em um compartimento mais inerte e representa a maneira pela qual a matéria orgânica do solo pode ser protegida por longos tempos. Estudos mais recentes têm mostrado a importância da ação do carbono pirogênico como um sumidouro no ciclo global do carbono (Kuhlbusch & Crutzen, 1995), não obstante a estabilidade biológica do carvão em solos e sedimentos bem como sua contribuição para a distribuição e conteúdo de carbono permanecerem ainda desconhecidas (Skjemstad et al., 1996).

Todavia, Hedges & Oades (1997) afirmam que ambientes deposicionais e microbianos são muito diferentes nos solos e nos sedimentos e que alguns compostos orgânicos que podem persistir nos sedimentos são, no mínimo, parcialmente degradados no solo. A meia vida do carbono pirogênico, isolado por oxidação, foi recentemente estimada como menos de 100 anos em solo tropical coberto por savanas (Bird et al., 1999). O tempo de vida relativamente curto, observado pelos autores, foi atribuído à natureza arenosa da matriz mineral (teor de argila < 10%). Glaser et al. (2000) mostraram uma associação preferencial do carbono pirogênico com silte e minerais de argila quando comparado à areia. Essa associação pode exercer uma eficiente proteção do carbono pirogênico em solos de textura média e argilosa.

A reatividade do carbono pirogênico no ambiente e a sua contribuição para a sustentabilidade deste é atribuída principalmente à sua composição e estrutura molecular. Ele é formado pela oxidação incompleta de materiais orgânicos; destarte, é composto de unidades básicas poliaromáticas de diferentes tamanhos e níveis de organização. A gênese desta alta estabilidade e reatividade é atribuída às transformações químicas e bioquímicas de resíduos carbonizados. Devido à oxidação parcial, as unidades aromáticas periféricas contêm grupos substituintes ácidos (carboxílicos e fenólicos),

aumentando assim a sua CTC. As substâncias húmicas derivadas do carbono pirogênico apresentam altas aromaticidade e densidade de cargas, e são caracterizadas por serem estruturas aromáticas condensadas, deficientes em H e altamente carboxiladas (Novotny et al., 2005).

Estudando a acidez total (principalmente grupos carboxílicos e fenólicos), de substâncias húmicas de solos da Amazônia, Cunha (2005) verificou que os ácidos húmicos provenientes de solos antrópicos ricos em carbono pirogênico não foram mais reativos que os ácidos húmicos de solos não antrópicos (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de grupos funcionais contendo oxigênio (cmol kg⁻¹) em ácidos húmicos de solos antrópicos ricos em carbono pirogênico e em solos não antrópicos e pobres em carbono pirogênico.

| Grupos | SAF | SNAF |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Acidez Total (AT) | 612a | 575a |
| Acidez Carboxílica (AC) | 435a | 320a |
| AC em % da AT | 71,07 | 55,65 |
| Acidez Fenólica (AF) | 177a | 256a |
| AF em % da AT | 28,93 | 44,34 |
| COOH | 2,76 | 1,44 |

SAF: solo antrópico sob floresta; SNAF: solo não antrópico sob floresta. Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente a 5%.

Fonte: adaptado de Cunha (2005).

SAF: solo antrópico sob floresta; **SNAF:** solo não antrópico sob floresta. Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente a 5%. Fonte: adaptado de Cunha (2005).

Entretanto, entre os grupamentos funcionais estudados, observou-se uma maior contribuição dos grupamentos carboxílicos nos ácidos húmicos dos solos antrópicos (Tabela 2). Não houve diferença, estatisticamente significativa, entre a concentração de grupamentos fenólicos dos dois grupos de solos.

Os dados obtidos para os grupamentos carboxílicos (Tabela 2) sugerem uma maior disponibilidade de hidrogênio ionizável a valores de pH mais baixos nos ácidos húmicos dos solos antrópicos ricos em C pirogênico, em comparação aos solos não antrópicos.

Em resumo, os ácidos húmicos dos solos antrópicos, ricos em carbono pirogênico, apresentaram um elevado conteúdo de grupos funcionais oxigenados ionizáveis e recalcitrantes, principalmente

carboxílicos, que são potencialmente mais reativos. Isso favorece as reações: de troca iônica; com os minerais do solo; de complexação com cátions metálicos; entre outras; participando assim de todas as reações importantes dos ciclos biogeoquímicos, o que pode explicar a maior sustentabilidade dos solos ricos em carbono pirogênico (Cunha, 2005; Novotny et al., 2005).

Carbono pirogênico e formação de substâncias húmicas

Existem controvérsias no que diz respeito à formação de substâncias húmicas a partir do carbono pirogênico. Para alguns autores, ele é inerte e não pode ser atacado por microrganismos (Kuhlbusch et al., 1996); para outros existe a possibilidade da formação de substâncias húmicas reativas (Simpson & Hatcher, 2004a; Novotny et al., 2006).

Materiais carbonizados, especialmente o carbono pirogênico, são recalcitrantes contra a degradação química e biológica (Kuhlbusch, 1998), o que dificultaria a formação de novas substâncias a partir desses materiais. Entretanto, Kumada (1983) e Haumaier & Zech (1995) não concordam com essa afirmativa e reportaram a possível formação de substâncias húmicas a partir de materiais carbonizados. Kumada (1983) reportou que resíduos de plantas queimadas favorecem a formação de ácidos húmicos por oxidação química.

Segundo Zech & Guggenberger (1996), a lenta oxidação de materiais orgânicos nos solos, muito provavelmente, leva à formação de materiais húmicos. Glaser et al. (2000) afirmaram que a lenta oxidação de cadeias laterais do carbono pirogênico cria grupos carboxílicos que aumentam a CTC e mantêm a estabilidade da matéria orgânica do solo, além de formar complexos organo-minerais. Esse comportamento pode ser a razão para a alta CTC observada em solos antrópicos da Amazônia (Cunha, 2005).

O aumento da CTC em substâncias húmicas a partir da formação de grupos carboxílicos é extremamente desejável em solos tropicais, onde predominam, na grande maioria, argilo-minerais do tipo 1:1 e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio.

Outros autores também relataram a formação de substâncias húmicas a partir de materiais pirogenéticos. Shindo et al. (1986a,b) reportaram a formação de ácidos húmicos em solos vulcânicos (Andossolos) a partir de resíduos de plantas carbonizados. Materiais carbonizados produzidos durante a queima da vegetação podem ser os principais precursores das substâncias húmicas aromáticas presentes em solos onde os conteúdos de compostos fenólicos provenientes da lignina são baixos (Tate et al., 1990). Apesar de apresentarem origens geoquímicas diferentes, estruturas derivadas de lignina assemelham-se àquela do carbono pirogênico (Poirier et al., 2000).

Significativas quantidades de grupos C=O, provavelmente de grupos carboxílicos, associados às partículas de carvão separadas de solos foram encontrados por Skjemstad et al. (1996).

Smernik et al. (2000) mostraram, utilizando a técnica da ressonância magnética nuclear, que o carvão em solos continha considerável quantidade de grupos funcionais carboxílicos, como possível resultado de alteração “in situ”. Da mesma maneira, Skjemstad et al. (2002) observaram, em frações < 53 µm que foram submetidas à foto-oxidação, apreciáveis quantidades de C-carboxílico, com sinal próximo de 168ppm, o que é característico de carbono aromático substituído com grupos carboxílicos.

Distribuição do Carbono Pirogênico

Distribuição no solo

A incorporação de carbono pirogênico em solos e sedimentos é um importante mecanismo para a estabilização do carbono nesses ambientes (Schmidt & Noack, 2000; Glaser et al., 2001; Glaser et al., 2002), apesar da degradação natural de carbono pirogênico ter sido reportada, principalmente em ambientes bem aerados (Bird et al., 1999).

A distribuição do carbono pirogênico nos solos, tanto lateral como verticalmente, é altamente variável e, segundo Skjemstad et al. (1996), parece refletir a quantidade de biomassa susceptível à oxidação, ao conteúdo de argila e aos efeitos de processos erosivos e aluviais, haja vista que materiais carbonizados finamente divididos são móveis, comportando-se de maneira similar à fração argila e à fração silte e, conseqüentemente, migram para os mesmos locais onde essas frações se acumulam (Skjemstad et al., 1999).

Entretanto, a distribuição do carbono pirogênico em diferentes frações granulométricas do solo não é uniforme. Em solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio), as frações leves continham as maiores concentrações de carbono pirogênico (Glaser et al., 2000). Foi observado também que uma grande parte do carbono pirogênico estava na fração pesada, embebido dentro das placas de óxido de ferro e alumínio na superfície dos minerais. Concentrações elevadas de carbono pirogênico também foram observadas nos horizontes mais profundos de perfis de solo, podendo esse comportamento estar ligado à possível erosão das partículas em superfície ou ao enterro destas por bioturbação (Saldarriaga & West, 1986; Glaser et al., 2000). Entretanto, segundo Boulet et al. (1995), datações com ^{14}C têm revelado aumento da idade média do carbono pirogênico proporcional à profundidade. Em Latossolos da Amazônia Brasileira, carvão coletado a 2m de profundidade, após estudos de datação, apresentou idade de cerca de 8.800 anos, indicando que o carbono pirogênico das camadas mais profundas tem uma origem diferente daquele encontrado em superfície, cuja idade aproximada é de 1000 a 1500 anos (Glaser et al., 2000).

Ocorrência de carbono pirogênico em algumas regiões do Brasil e do mundo

Aparentemente, o carbono pirogênico é encontrado em todos os ambientes, e isso tem importantes implicações para o ciclo global do carbono (Simpson & Hatcher, 2004b).

A presença de carvão em solos tem sido reportada em diversos estudos realizados em diferentes partes do mundo. Em solos antrópicos, onde foram encontrados artefatos e covas, como os que ocorrem nos solos antrópicos da Amazônia e na Região da Bavária na Alemanha, datados do Período Neolítico com idade entre 2.700 a 5.500 anos, o carbono aromático detectado por várias técnicas espectroscópicas é derivado do carvão. Esse carvão é originário de queima da vegetação ou de outros materiais carbonizados como resíduos de queimas de outros locais no mesmo período (Schmidt et al., 2001).

Skjemstad et al. (1999) identificaram carvão em solos australianos e atribuíram a presença deste ao manejo do fogo pelos povos aborígenes por milhares de anos. Em solos da Alemanha Schmidt et al. (1999) detectaram carvão finamente dividido, como o principal constituinte da matéria orgânica de Chernossolos.

Em solos brasileiros, quantidades significativas de carbono pirogênico são encontradas em solos com histórico de incêndios naturais ou provocados, como nos casos do Cerrado (Roscoe et al., 2001) e ambientes rupestres altimontanos (Benites et al., 2005). Outrossim de grande interesse são as chamadas Terras Pretas de Índio, que são solos de origem antropogênica existentes na Região Amazônica (Glaser et al., 2001; Madari et al., 2004; Cunha, 2005).

Conteúdo de carbono pirogênico nos solos

Estimativas globais da contribuição do carbono pirogênico para a composição da matéria orgânica do solo são menores do que 10% (Druffel, 2004). Na média, o carbono pirogênico representa de 1 a 6% do carbono total do solo (González-Pérez et al., 2004), porém ele pode atingir 18% (Glaser & Amelung, 2003) e 35% (Skjemstad et al., 2002) nas pradarias e solos agrícolas dos Estados Unidos, respectivamente; 30% em solos australianos (Skjemstad et al., 1999); até 45% em Chernossolos da Alemanha (Schmidt et al., 1999); até 65% em Chernossolos Canadenses (Ponomarenko & Anderson, 2001); e, em alguns solos contaminados, carbono pirogênico antrópico pode atingir 80% do carbono

orgânico total (Schmidt et al., 1996). Entretanto esses valores podem estar superestimados devido a problemas nos métodos de determinação (Derenne & Largeau, 2001; Masiello, 2004; Simpson & Hatcher, 2004a,b).

Estudando o conteúdo de carbono pirogênico na forma de carvão em solos dos Estados Unidos, Skjemstad et al. (2002) observaram quantidades que variaram de 1,8 a 13,6g C kg⁻¹ de solo, constituindo cerca de 35% do carbono total do solo. Em solos australianos, Skjemstad et al. (1996) observaram quantidades da ordem de 8g C kg⁻¹ solo constituindo cerca de 30% do carbono total do solo. Aparentemente, os conteúdos de carbono pirogênico em solos australianos estariam dentro da média dos conteúdos observados em solos dos Estados Unidos.

Glaser et al. (2000 e 2001) mostraram que, em solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio), a matéria orgânica consiste em, aproximadamente, 35% de carbono pirogênico ao longo do espesso horizonte A antrópico. Nos solos vizinhos às manchas de Terra Preta, os Latossolos com outros tipos de horizonte A, o carbono pirogênico ocorre somente nos primeiros centímetros do perfil constituindo cerca de 14% da matéria orgânica do solo. O estoque de carbono pirogênico dentro de 1m de profundidade nas Terras Pretas foi estimado por Glaser et al. (2001) como sendo 4 a 11 vezes mais que nos Latossolos sem horizonte A antrópico e aumentaram com o aumento do conteúdo de argila.

Taxas de produção de carbono pirogênico

A produção global de carbono pirogênico é da ordem de 50 a 270Tg ano⁻¹ (1 Tg = 10¹² g). Dessa produção mais de 80% permanece como resíduo nos solos (Kuhlbusch, 1998). Além disso, com o aumento das atividades humanas nos últimos tempos, a contribuição do carbono pirogênico proveniente da queima de combustíveis fósseis provavelmente tenderá a aumentar.

Globalmente, estima-se que 49 x10⁶ Mg C é convertida à forma de carvão anualmente por queima da biomassa primária de florestas tropicais e limpezas de áreas em floresta secundária, incluindo a derrubada para o cultivo (Fearnside, 2000). Isso reduz a emissão anual de gases na forma de CO₂ em cerca de 2%.

O fluxo de carbono pirogênico para a atmosfera na forma de CO₂ foi estimado por Griffin & Golberg (1975) como sendo da ordem de 5kg ha⁻¹ ano⁻¹. Essa quantidade é bem menor do que as emissões decorrentes de mudança no uso da terra e agricultura, que juntas emitem cerca de 0,15 a 0,16Pg (1 Pg = 10¹⁵g) de carbono. Essa baixa emissão está relacionada ao fato de que o carbono pirogênico é pouco biodegradado por microrganismos (Seiler & Crutzen, 1980), pois a sua oxidação a CO₂ é muito lenta (Shneour, 1966; Smernik et al., 2000).

Na Região da Andaluzia, onde existe grande incidência de incêndios florestais, González-Pérez et al. (2002) estimaram, em escala regional, que cerca de 31.222Mg de material refratário pode ser formada devido às queimadas anuais, numa taxa de 1,8Mg ha⁻¹ queimado. Do total de carbono pirogênico formado, cerca de 767 a 920Mg ano⁻¹ seria emitido na forma de aerossol (fuligem) para a atmosfera e após algum tempo depositados e incorporados em sedimentos em todo o mundo. A maior parte do carbono pirogênico, cerca de 30.300 Mg ano⁻¹, é incorporado aos solos, próximo ou distante dos locais das queimadas (González-Pérez et al., 2004).

Kuhlbusch et al. (1996) estimaram que entre 0,7% e 2,0% do carbono orgânico convertido a CO₂ durante a queimada foi retido como carvão (carbono pirogênico) e que cerca de 10 a 26Tg ano⁻¹ de carbono pirogênico foi formado em savanas devido à queima da biomassa. Entretanto, Skjemstad & Graetz (2003), usando a razão C/Si de materiais de plantas e depósitos de cinzas/carvão de incêndios recentes na Austrália, sugerem que a taxa de conversão pode ser muito mais elevada, podendo atingir a ordem de 4,0%.

Apesar da importância do carbono pirogênico, existem poucas informações sobre a taxa de produção de carvão em eventos de queimas naturais. No Brasil, poucos estudos foram dedicados ao

assunto (Fearnside et al., 1993, 1999, 2001; Graça et al., 1999). Também estudos sobre a estrutura molecular e propriedades isotópicas dos materiais formados pela ação das queimadas em florestas são inexistentes.

Considerações Finais

O carbono pirogênico está presente em diversos ambientes e apresenta diversas propriedades de extremo interesse ambiental e agrônômico. Exemplos dessas propriedades são: (a) sua alta estabilidade, devido à presença de estruturas aromáticas condensadas, o que desempenha importante papel no seqüestro de carbono; (b) sua elevada reatividade, decorrente da oxidação parcial de sua estrutura aromática, dando origem a grupos funcionais ácidos e recalcitrantes, principalmente carboxílicos, que contribuem significativamente para o aumento da capacidade de troca catiônica, especialmente nos solos altamente intemperizados, normalmente constituídos por minerais de baixa atividade, tais como caulinitas, goetita e gibsitita e (c) sua elevada porosidade e área superficial, o que serve de refúgio para microorganismos, tais como micorrizas, que produzem mucopolissacarídeos importantes para a agregação dos solos e que, em associação com o sistema radicular das plantas, podem aumentar a capacidade de absorção destas.

O melhor conhecimento dessas propriedades, assim como a tentativa de elucidar a tecnologia ancestral empregada para a formação de certos solos antropogênicos, em especial as Terras Pretas de Índio, em muito contribuirá para o desenvolvimento de novas tecnologias visando a resolver ou, ao menos, mitigar problemas atuais, tais como a emissão de gases e a procura por práticas de agricultura sustentável.

Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio

Vinícius de Melo Benites
Wenceslau Geraldes Teixeira
Maria Emília Rezende
Alexandre Santos Pimenta

As Terras Pretas de Índio (TPI) são os mais intrigantes perfis de solos observados no ambiente amazônico. Muitos pesquisadores têm se dedicado ao estudo desse fenômeno em todo o mundo, como pode ser observado neste livro e em outras publicações sobre o tema (Lehmann et al. 2003, Glaser et al. 2001). A maioria dos trabalhos trata da investigação das características das terras pretas e de como estas provavelmente foram formadas. A elucidação da gênese dos horizontes antrópicos nas TPIs contém informações valiosas que podem gerar novas tecnologias e novas soluções para a agricultura tropical. Aspectos relacionados à fertilidade desses solos vão aos poucos se tornando mais claros, e a replicação de algumas condições observadas nesses ambientes começam a apontar como um caminho viável. Alguns trabalhos tratam da replicação das terras pretas por meio do manejo do solo e da vegetação nas condições amazônicas (Steiner et al. 2007; Glaser et al. 2001). Contudo, a partir da constatação de que a matéria orgânica de origem pirogênica, presente em grande quantidade nesses solos, é um dos elementos chave na preservação da elevada fertilidade e na boa estruturação e condição físico-hídrica deles; novas perspectivas podem ser trilhadas, tanto para os solos amazônicos quanto para outros solos tropicais de baixa fertilidade.

Vários autores têm caracterizado a matéria orgânica encontrada nas Terras Pretas de Índio (TPI) e demonstrado que grande parte da porção humificada tem origem na transformação de resíduos em carvão (Glaser et al. 2002, Tony neste livro). Estes resíduos foram adicionados ao solo de forma intencional ou acidental, em virtude da atividade antrópica das populações pré-colombianas que viviam nessas áreas (vide capítulos Kern, Woods,). As substâncias húmicas encontradas nas TPIs apresentam, como característica, elevada aromaticidade, o que lhe confere alta estabilidade no solo, e ainda alta reatividade em função, sobretudo, de grupos carboxílicos presentes nestas moléculas (Cunha et al. 2007). Essas características são fortemente desejáveis quando se pretende produzir um condicionador orgânico para ser utilizado em solos tropicais, resultando em boa persistência e elevada capacidade de troca catiônica. A alta atividade biológica observada nas Terras Pretas de Índio sugere que a transformação dos resíduos da carbonização deve ser mediada por organismos, seja pela ação direta sobre o carvão ou ainda pela liberação de enzimas capazes de transformar quimicamente esses substratos.

A partir da constatação de que é possível sintetizar substâncias húmicas de alta estabilidade e de alta reatividade a partir de carvão vegetal e seus subprodutos, surgiu a idéia de aproveitar as enormes quantidades de subprodutos da carbonização vegetal que são produzidos no Brasil, o maior produtor mundial de carvão vegetal (ABRACAVE, 2007). Além disso, a própria utilização direta do carvão como condicionador de solo já representa um potencial gigantesco a ser explorado. Outros subprodutos, como o ácido pirolenhoso, têm sido usados como estimulantes vegetais, redutores de pH de caldas e como bioativadores de solos (Miazaka et al. 2001, Numaka et al. 1994). Talvez todos esses fatores possam estar atuando conjuntamente, influenciando a elevada fertilidade e capacidade de produção vegetal das Terras Pretas de Índio.

A Carbonização Vegetal

A carbonização vegetal é um processo conhecido há pelo menos 10.000 anos, porém esse processo evoluiu muito pouco durante todo esse tempo. Ela pode ser definida como o processo cujo objetivo é aumentar o teor de carbono na madeira por meio de tratamento térmico. Nesse caso, observa-se uma perda seletiva de hidrogênio e oxigênio, com a conseqüente concentração de carbono (Oliveira et al, 1982b). Para que isso aconteça, é necessária a ocorrência de vários processos, tanto físicos como químicos. Alguns autores relatam que o processo de carbonização pode ser entendido ao se estudar o comportamento dos três principais componentes da madeira: a celulose, as hemiceluloses e a lignina (Oliveira et al, 1982a). Compreendendo o comportamento desses componentes, será possível entender como se realiza a carbonização.

Durante o processo de carbonização da madeira, o carvão é apenas uma fração dos produtos que podem ser obtidos. Caso sejam utilizados sistemas apropriados para a coleta, também podem ser aproveitados os condensados pirolenhosos (alcatrão vegetal) e os gases não condensáveis. A prática mais completa e eficiente, quando além do carvão vegetal (resíduo) são aproveitados os condensados e os gases não condensáveis da madeira, denomina-se “destilação seca”, que pode ser implantada a partir da utilização de fornos especiais com recuperadores de fumaça.

Em termos de rendimento, a carbonização vegetal bem conduzida pode gerar até 40kg de carvão vegetal a partir de 100kg de madeira seca; ou seja, um rendimento de 40%. Neste mesmo processo, são gerados cerca de 61kg de água incluindo uma umidade inicial de 30% e 13kg de óleo. Parte deste óleo apresenta-se solúvel em água formando o ácido pirolenhoso. Também podem ser recuperados ou utilizados como fonte de energia 16kg de gases não condensáveis (CH_4 , CO_2 , CO e H_2) (Fig. 1).

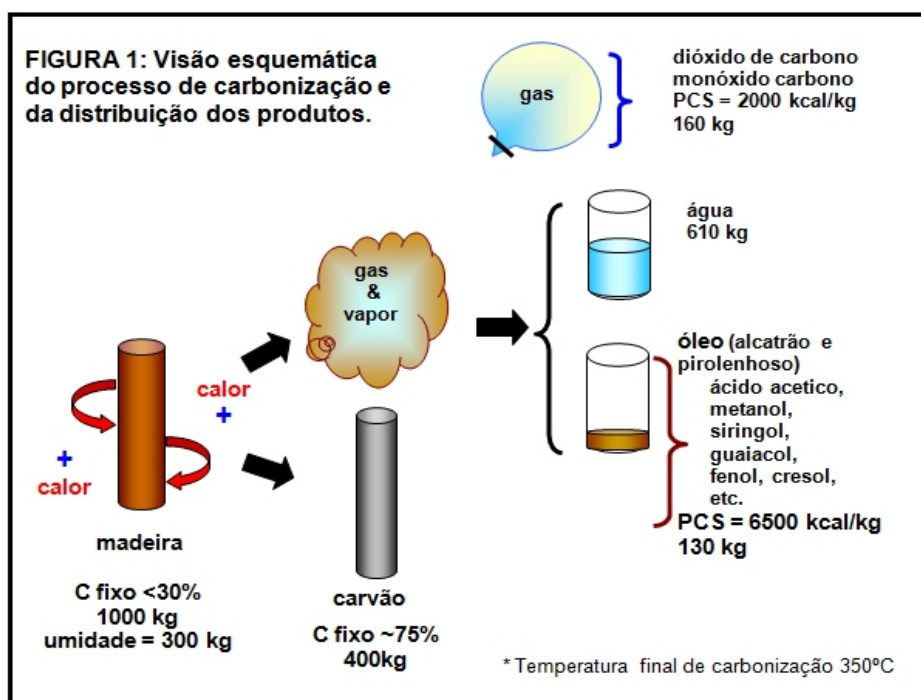


Fig. 1. Esquema de produção de carvão vegetal, subprodutos e gases não condensáveis a partir da carbonização controlada de madeira.

Físico Química da Carbonização Vegetal

Todo o processo de carbonização tem sido alvo de inúmeras pesquisas para conhecimento dos mecanismos e processos que levam à transformação da madeira em carvão. Quando se coloca uma peça de madeira sob a ação do calor, ocorre a destruição de seus principais componentes, resultando na formação de carvão e diversos outros compostos, dos quais mais de 213 já foram identificados (Oliveira et al, 1982a). Para explicar como ocorre a formação desses componentes e quais são os mecanismos e reações que acontecem durante a carbonização, vários modelos têm sido desenvolvidos. A carbonização é um processo que depende do tempo e da temperatura. Assim, pode-se dizer que a formação de “tiços”, material parcialmente carbonizado, dá-se provavelmente pela não-exposição da peça de madeira à temperatura durante um tempo adequado, gerando, assim, zonas não pirolisadas (OLIVEIRA et al., 1982a).

Cada um dos componentes da madeira participa, de maneira diferente, do processo de carbonização, gerando diferentes produtos, devido à natureza de sua composição química. A degradação da celulose processa-se rapidamente em um curto intervalo de temperatura cerca de 50°C provocando drásticas mudanças no seu comportamento, com a perda de cerca de 77% do seu peso. As hemiceluloses começam a perder peso em temperaturas próximas a 225°C, sendo o componente menos estável da madeira, uma vez que a sua degradação é quase completa na temperatura de 325°C, perdendo peso continuamente sob a ação do calor (OLIVEIRA et al., 1982a). A lignina é o componente químico mais importante da madeira quando se objetiva a produção de carvão vegetal, pois o rendimento gravimétrico do processo está diretamente relacionado ao conteúdo de lignina na madeira. Esse componente começa a degradar-se em temperaturas mais baixas, a partir de 150°C. Ao contrário da celulose e das hemiceluloses, cuja degradação é mais lenta, ela continua perdendo peso em temperaturas superiores a 500°C, dando como resultado um resíduo carbonoso, conhecido como carvão vegetal. Tal perda é bem menor que a ocorrida com a celulose e as hemiceluloses (OLIVEIRA et al., 1982a).

- Os fenômenos da carbonização podem ser divididos da seguinte maneira (CETEC, 1982):
- **Zona A:** até 200°C, é caracterizada pela produção de gases não condensáveis, tais como vapor d'água, CO₂, ácido fórmico e acético;
- **Zona B:** Compreendida na região de temperatura entre 200 e 280°C. Nela são produzidos os mesmos gases da Zona A. Nesse caso, há diminuição substancial no vapor d'água e aparecimento de CO. As reações que acontecem nessa região são de natureza endotérmica;
- **Zona C:** de 280 a 500°C. A carbonização ocorre por meio de reações exotérmicas. A temperatura a que as reações exotérmicas ocorrem não está bem identificada. Os produtos obtidos nessa etapa são sujeitos a reações secundárias, incluindo combustíveis e alcatrão, CO e CH₄;
- **Zona D:** acima de 500°C. Nessa região já existe o carvão. Nela, acontecem várias reações secundárias, catalisadas pelo leito de carbonização.

O Tabela 1 ilustra a evolução da carbonização em termos de produtos obtidos em temperaturas crescentes de carbonização (OLIVEIRA, 1982a).

Características e Propriedades do Carvão e de Subprodutos da Carbonização Vegetal

Carvão

O carvão vegetal é um material orgânico com elevado teor de carbono, concentrado por efeito do aquecimento. Dependendo da temperatura final de carbonização, o carvão pode apresentar diferente composição (Trompowsky et al., 2005). Em contraponto ao elevado teor de carbono, o carvão vegetal

apresenta baixo teor de nitrogênio, o que resulta em uma elevada relação C:N. O oxigênio é o segundo elemento mais abundante e o seu teor está inversamente relacionado á temperatura final de carbonização praticada. Existem ainda as cinzas, que são formadas por elementos minerais oriundos principalmente de cascas. Nas cinzas, predominam o potássio, o cálcio, o fósforo e o sódio. A composição das cinzas é fortemente relacionada à química dos solos onde se desenvolveu a madeira original.

Tabela 1. Evolução teórica da carbonização da madeira.

| Fases da carbonização | Temperatura (°C) | Teor de carbono fixo | Gases não condensáveis | | | |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|------|----------------|-----------------|
| | | | Co ₂ | CO | H ₂ | Hidrocarbonetos |
| | | | % em base seca | | | |
| Secagem | 150-200 | 60 | 68,0 | 30,0 | - | 2,0 |
| Gases oxigenados | 200-280 | 68 | 66,5 | 30,0 | 0,2 | 3,3 |
| Início da fase dos hidrocarbonetos | 280-380 | 78 | 35,5 | 20,5 | 6,5 | 37,5 |
| Fase dos hidrocarbonetos | 380-500 | 84 | 31,5 | 12,3 | 7,5 | 48,7 |
| Dissociação e contração | 500-700 | 89 | 12,2 | 24,6 | 42,7 | 20,5 |
| Fase do H ₂ | 700-900 | 91 | 0,5 | 9,7 | 80,9 | 8,9 |

Fonte (CETEC, 1982).

O carvão apresenta uma estrutura porosa, uma vez que a água e os compostos voláteis contidos na madeira foram eliminados, deixando espaços vazios. Cerca de 70 a 80% do volume do carvão vegetal é formado por poros. Logo, o carvão apresenta baixa densidade, variando de 0,3 a 0,4kg dm⁻³. Quimicamente o carvão é formado por uma estrutura policíclica aromática com alto grau de condensação (Fig. 2).

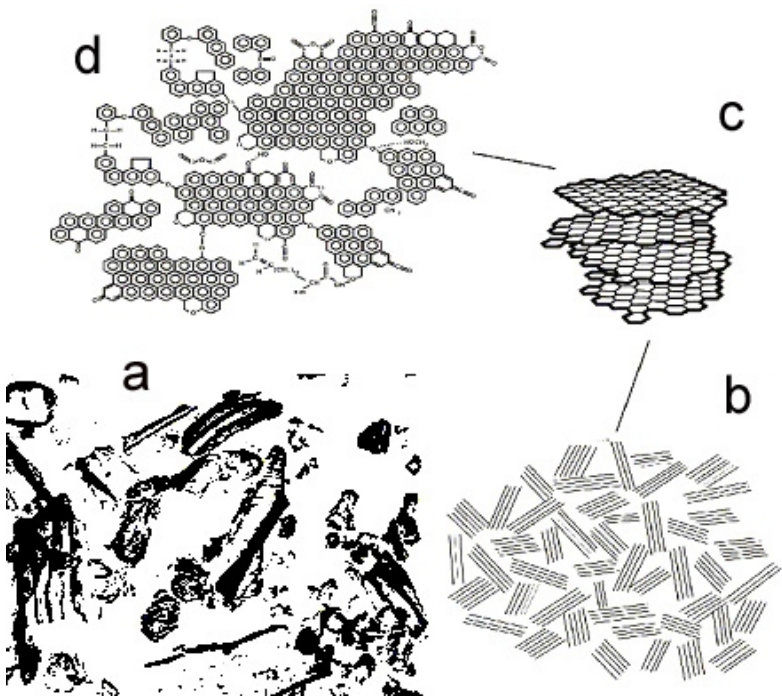


Fig. 2. Desenho esquemático mostrando: (a) microfotografia eletrônica de fragmentos de carvão encontrados em amostra de solos (Skjemstad , 1996); (b) estrutura lamelar do carvão; (c) aspecto quase grafítico das lamelas de carvão e (d) estrutura aromática policíclica condensada de carvão vegetal.

A composição e a estrutura química do carvão confere a ele uma grande persistência no solo. Em estudos de datação de fragmentos de carvão encontrados em solos, é comum a observação de amostras com milhares de anos (Gouveia et al., 1999). Em virtude de sua conformação porosa, alguns trabalhos têm demonstrado a utilização de fragmentos de carvão no solo como micro-habitat para organismos do solo (Pietikainen et al., 2000). Alguns trabalhos ainda sugerem o efeito positivo dos carvões sobre propriedades físico-hídricas de solos, aumento de sua capacidade de retenção de umidade (Piccolo et al., 1997, Teixeira et al. neste volume)

Alcatrão vegetal

O alcatrão vegetal é um produto obtido a partir da recuperação e condensação dos gases (fumaça) produzidos durante a carbonização vegetal. A recuperação de produtos químicos a partir do alcatrão vegetal tem, como etapa inicial, a destilação fracionada. Normalmente, são separadas quatro frações e um resíduo designado como piche vegetal. Os cortes de destilação são realizados com base na temperatura de vapor dos destilados, e os rendimentos médios obtidos em cada separação estão apresentados no Tabela 2.

Tabela 2. Cortes e rendimentos médios em destilação de alcatrão vegetal.

| Descrição | % do alcatrão bruto |
|--|---------------------|
| Fração A: até 105 oC (ácido pirolenhoso) | 10,4 |
| Fração B: 105-180 oC (óleo leve) | 10,6 |
| Fração C: 180-240 oC (óleo médio) | 20,9 |
| Fração D: acima de 240 oC (óleo pesado) | 4,6 |
| Resíduo (piche) | 44,0 |
| Perdas (calculadas por diferença) | 9,5 |
| Total | 100,0 |

Fonte: (Carazza e Okuma, 2000).

Os óleos encontrados no alcatrão têm utilização na indústria química e alimentícia. Ao se examinar os constituintes do alcatrão, verifica-se que muitos deles ocorrem naturalmente em produtos de origem vegetal e podem ser utilizados como aditivos (flavorizantes) em alimentos produzidos industrialmente (Carazza e Okuma, 2000). Esse tem sido atualmente o principal uso comercial dessas frações do destilado de alcatrão.

O resíduo da destilação fracionada do alcatrão, também denominado piche de alcatrão, apresenta características estruturais parecidas com as encontradas em substâncias húmicas extraídas de solos ricos em carbono pirogênico (Novotny et al, 2003). Esses compostos são solúveis em meio alcalino e precipitam em pH ácido, à semelhança dos ácidos húmicos; porém são fortes inibidores da atividade microbiana (Coelho et al., 2003), utilizados, inclusive, no tratamento de madeira. O espectro de C^{13} RMN da fração ácido-húmica, extraída de uma amostra de piche de alcatrão de eucalipto, mostra que a diferença básica entre o piche e os ácidos húmicos extraídos de solos pirogênicos é devido à grande quantidade de grupos O-alkil presentes no alcatrão e à falta de grupos carboxílicos (Fig. 3). Dessa forma, a partir da demetilação e da formação de grupos funcionais carboxílicos no alcatrão vegetal, é possível moléculas semelhantes aos ácidos húmicos pirogênicos. Não apenas os carvões, mas também os subprodutos da carbonização vegetal são prováveis precursores das substâncias húmicas em solos ricos em material pirogênico como nos horizontes antrópicos das TPIs.

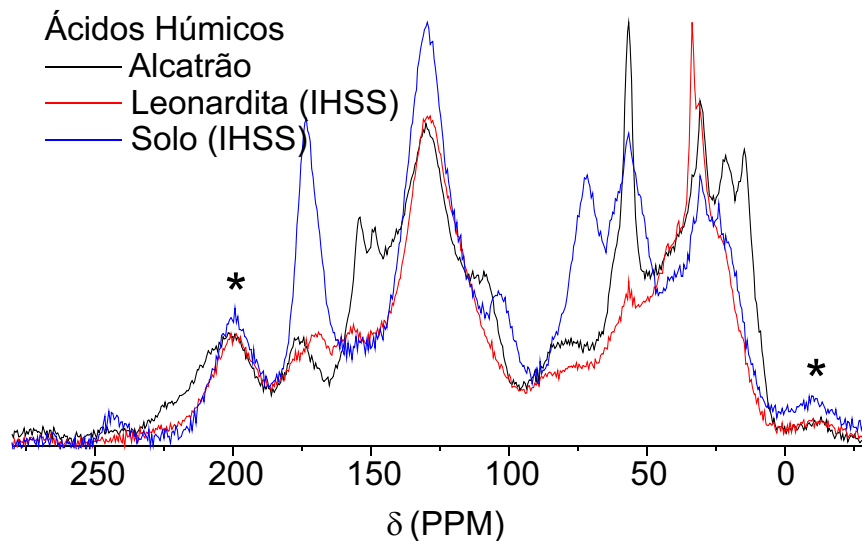


Fig. 3. Espectros de ^{13}C -RMN de ácidos húmicos padrões da IHSS e extraídos do alcatrão (Novotny et al. 2003).

Ácido pirolenhoso

O ácido pirolenhoso é a primeira fase a evaporar durante a destilação. Formado, em sua maior parte, por cerca de 92% de água, contém ainda 8% de compostos orgânicos, dos quais o ácido acético é o composto predominante (Almeida, 1982). Em razão disso é também chamado de vinagre de madeira. Entretanto, uma série de outros compostos orgânicos também está presente no ácido pirolenhoso (Fig. 4).

COMPOSTOS NA MATÉRIA ORGÂNICA DO BIOPIROL

| | | | |
|-------------------------|--------------|---|--|
| ÁCIDO FÓRMICO | 18% | <chem>OC(=O)</chem> Formic acid | <chem>CC(=O)O</chem> Acetic acid |
| ÁCIDO ACÉTICO | 50% | | |
| ACETONA | ~ 4% | <chem>CC(=O)C</chem> Propan-2-one | <chem>CCC(=O)O</chem> Propionic acid |
| ÁCIDO PROPIÔNICO | ~ 4% | | |
| CICLOTENO | 0,7% | <chem>CC1=COC(=O)C1</chem> Cicloteno 2-Methyl-furan-3-one | <chem>Oc1ccccc1</chem> Phenol |
| FENOL | 1% | <chem>Oc1ccccc1C</chem> 2-Methyl-phenol | <chem>Oc1ccc(C)cc1</chem> 3-Methyl-phenol |
| | | <chem>Oc1ccc(C)cc1</chem> 4-Methyl-phenol | |
| GUAIACOL | 1,70% | <chem>COc1ccccc1O</chem> 2-Methoxy-phenol | <chem>COc1cc(OC)c(O)cc1</chem> 2,6-Dimethoxy-phenol |
| SIRINGOL | ~2% | | |

Fig. 4. Compostos orgânicos componentes do ácido pirolenhoso e suas respectivas concentrações (Almeida, 1982).

A Produção de Carvão Vegetal e Subprodutos da Carbonização Vegetal no Brasil

O Brasil é responsável por 38,5% da produção mundial, havendo produzido cerca de 18 milhões de m³ de carvão vegetal originado de florestas cultivadas no ano de 2007, com um valor estimado de 1,9 bilhões de reais. Esse carvão tem, como destino principal, a indústria siderúrgica para a produção de ferro gusa e aço (AMS 2008). O processo de produção e uso do carvão vegetal no Brasil é reconhecido como um processo de desenvolvimento limpo, por promover a fixação de carbono atmosférico na forma de florestas cultivadas, condição esta reconhecida por órgãos internacionais no repasse de recursos na forma de créditos de carbono (Plantar, 2002). Além do carvão são produzidos o alcatrão e o extrato pirolenhoso, que já são obtidos comercialmente por meio de lavadores de fumaça, tais componentes são industrializados para produção de diversos produtos para fins agrícolas, para a indústria química e alimentícia. Embora existam experiências no sentido de melhorar o aproveitamento da fumaça, o volume processado ainda é muito baixo, correspondendo a bem menos de 1% do total produzido pela indústria carvoeira brasileira. O Brasil teria potencial de produção de 2,5 milhões de toneladas, equivalentes a 10 milhões de barris de petróleo.

Outro importante subproduto da carbonização vegetal é o fino de carvão gerado no processo, que, em alguns casos, representa até 15% do carvão produzido. No Japão, o fino de carvão associado ao ácido pirolenhoso tem sido usado como adubo orgânico a algumas décadas (Kishimoto e Sugiura, 1985; Du et al., 1998).

O desenvolvimento de processos que permitam transformar o carvão e seus subprodutos em compostos com características apropriadas para o uso como condicionantes do solo e adubos orgânicos, como reatividade e estabilidade, não só é altamente desejável como também estratégico para o setor florestal brasileiro. Um produto com tais características pode agregar valor ao carvão vegetal, tanto por criar um uso inovador para um produto tradicional, quanto por ser objeto de captação de recursos destinados ao mecanismo de desenvolvimento limpo, uma vez considerada sua capacidade de transferência de carbono da atmosfera para compartimento estável, que é a matéria orgânica do solo. Esse processo, além de uma alternativa econômica, representa um benefício ambiental por incentivar a recuperação da fumaça, evitando os prejuízos por ela causados. O produto gerado apresenta constituição exclusivamente orgânica e é derivado de um recurso renovável, características que o elegem como apto a ser utilizado em sistemas orgânicos de produção. Existe ainda tecnologia adequada à produção de carvão e subprodutos em pequenas propriedades familiares, o que abre uma boa alternativa para geração de renda para essa parcela da população.

Potencial Produção de Fertilizantes e Condicionadores de Solos a partir de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal

A maior parte dos solos brasileiros agricultáveis são ácidos, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e baixa fertilidade. O solo é, portanto, um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agrícola em ambientes tropicais. A matéria orgânica do solo apresenta um importante papel no incremento da capacidade de retenção de nutrientes, estruturação e retenção de umidade em solos tropicais, além de representar um importante compartimento para a fixação do carbono atmosférico. Porém, devido ao manejo agrícola, esses compostos podem ser degradados, perdendo sua função como condicionador das propriedades físicas e químicas, além de liberar gases causadores do efeito estufa. Portanto a estabilidade e a reatividade da matéria orgânica são fatores fundamentais na escolha de um adubo orgânico, tanto sob o ponto de vista agrícola quanto sob o ponto de vista das mudanças climáticas globais.

Em alguns solos tropicais, onde se observa histórico de queima da vegetação, podem ser encontrados compostos orgânicos pirogênicos na fração humificada, como no caso das Terras Pretas Arqueológicas na Amazônia (Glaser et al., 2001), em solos sob Cerrado (Roscoe et al., 2001) ou em áreas sob vegetação rupestre de altitude na Mantiqueira e no Espinhaço (Benites et al., 2001). Os compostos orgânicos encontrados nesses solos têm, em comum, características como alta resistência à termodegradação, além de apresentarem cargas eletroquímicas, devido à presença de grupos funcionais, as quais contribuem para o aumento da capacidade de troca de cations (CTC) e para a estruturação do solo, por meio da interação com a matriz mineral. Dada sua alta estabilidade e reatividade, esses compostos apresentam grande importância como condicionadores de solos tropicais, a sua maioria fortemente intemperizados, onde a fração argila apresenta baixa CTC e estão submetidos a condições climáticas que favorecem a mineralização da matéria orgânica.

A gênese da matéria orgânica de alta estabilidade nesses solos, que está relacionada ao carbono pirogênico, tem sido atribuída a transformações químicas e bioquímicas de resíduos carbonificados, resultantes da queima natural ou induzida da biomassa vegetal. Em outras palavras, pode-se dizer que esses compostos são derivados de carvões e subprodutos de queima incorporados ao solo após um incêndio natural ou proveniente da ação antrópica. Diversos trabalhos mostram que, pela ação de enzimas (Crawford e Gupta, 1993, Hofrichter e Fritsche, 1997) ou pela oxidação química de carvões (Kumada, 1983, Skjemstad et al., 1996, Golchin et al., 1997), podem ser formados compostos de alta reatividade, que apresentam grupos funcionais capazes de reter água e nutrientes no solo (Piccolo et al., 1996) e que conservam a estrutura policíclica aromática que lhes confere estabilidade. Substâncias húmicas têm sido produzidas comercialmente a partir de carvões minerais em vários países (Rausa et al., 1994), e sua comercialização tem ganhado espaço cada vez maior no mercado mundial. O Brasil importa esses produtos que são utilizados principalmente na fruticultura e olericultura irrigada, os quais são usados como condicionadores de solo, aumentando a eficiência do uso de fertilizantes e reduzindo o consumo de água para irrigação.

Síntese de Ácidos Húmicos a partir de Carvão Vegetal

É possível obter compostos semelhantes aos ácidos húmicos encontrados em solos ricos em carbono pirogênico, a partir do tratamento químico de amostras de carvão vegetal (Trompowsky et al., 2005). Amostras de carvão vegetal, quando tratadas com ácido nítrico a quente e posteriormente extraídas com hidróxidos, resultam em material húmico de alta aromaticidade e ricos em grupos carboxílicos (Araújo, 2004; Trompowsky et al., 2005). Ácidos húmicos derivados do tratamento ácido de carvão vegetal de *Mimosa tenuiflora* e *Aspidospema pyrifolium*, duas espécies nativas do Brasil, apresentam grupos funcionais em quantidade compatível com a encontrada em ácidos húmicos extraídos de Terra Preta de Índio (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de grupos funcionais totais, carboxílico (COOH) e fenólicos (OH) de ácidos húmicos sintetizados a partir de carvão vegetal e de ácido húmico extraído de Terra Preta de Índio.

| | Tratamento ¹ °C | COOH | OH cmol.kg ⁻¹ | Acidez Total |
|--|-------------------------------|--------|-----------------------------|--------------|
| <i>Mimosa tenuiflora</i> ² | 400 | 220,20 | 53,67 | 273,87 |
| | 450 | 256,08 | 44,63 | 300,71 |
| (Jurema Preta) | 500 | 380,65 | 69,89 | 450,54 |
| <i>Aspidospema pyrifolium</i> ² | 400 | 460,31 | 74,72 | 535,02 |
| | 450 | 403,59 | 60,69 | 464,29 |
| (Pau Pereiro) | 500 | 468,51 | 77,41 | 545,93 |
| AH Terra Preta de Índio ³ | | 444,50 | 217,50 | 662,00 |

¹Temperatura final de carbonização na obtenção do carvão vegetal do qual foi sintetizado o ácido húmico, ²extraído de Araújo, 2004; ³extraído de Cunha et al. (2007).

Nas amostras sintetizadas a partir de carvão vegetal, observa-se o predomínio dos grupos carboxílicos, que são os grupos de maior atividade em solos tropicais ácidos. O espectro de Ressonância Magnética Nuclear do C^{13} do ácido húmico sintetizado a partir do carvão mostra que essa molécula é basicamente formada por uma estrutura aromática associada a grupos funcionais contendo O na forma carboxílica (Fig. 5).

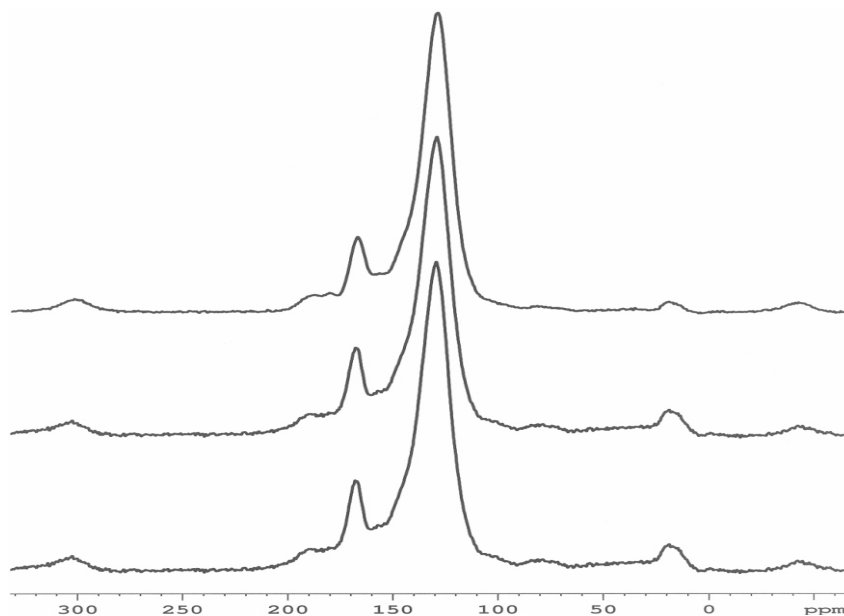


Fig. 5. Espectro ^{13}C CP-MAS RMN de ácidos húmicos obtidos a partir do tratamento ácido de carvão de *Eucalyptus saligna* produzido a diferentes temperaturas de carbonização (400°C em baixo, 450°C no meio e 500°C acima) (Trompowsky et al, 2005).

Dessa forma, pode-se sugerir que a estrutura dessas moléculas seja formada simplesmente por um núcleo aromático policondensado, quase grafítico e com grupos carboxílicos em sua periferia (Fig. 6). À semelhança das substâncias húmicas encontradas nas TPI, os ácidos húmicos de carvão são estáveis e ao mesmo tempo reativos, representando um material orgânico de grande interesse para utilização como condicionador de solos, ou para associação com nutrientes minerais, formando fertilizantes organo-minerais.

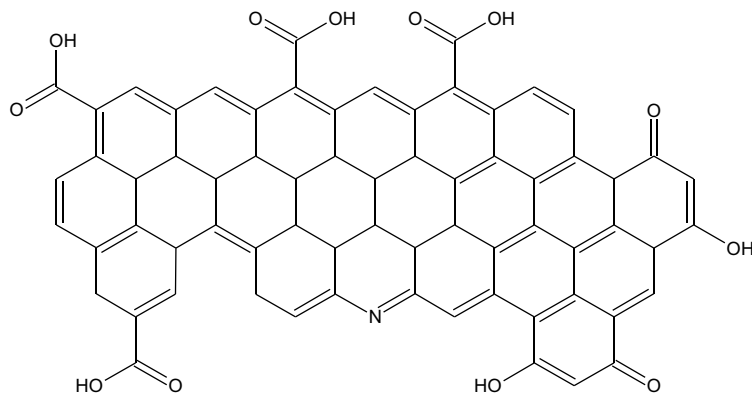


Fig. 6. Desenho esquemático da estrutura química de um ácido húmico sintetizado a partir de carvão vegetal.

Utilização de Carvão na Produção de Fertilizantes Orgânicos e Substratos

Produção de condicionadores orgânicos

Experimentos avaliando a biodegradação de resíduos ligno-celulósicos (ex: aparas de grama, pó de coco) demonstraram o efeito sinérgico do fino de carvão sobre o desenvolvimento de actinomicetos (Coelho et al., 2003). Em substratos contendo fino de carvão, observou-se maior crescimento de actinomicetos que em substratos sem fino de carvão. Considerando-se que o experimento foi conduzido em ambiente fechado, uma das hipóteses para o efeito positivo do carvão pode estar relacionada à alta capacidade do carvão em reter metabólitos orgânicos, reduzindo, assim, a toxidez causada no meio pela própria atividade dos microorganismos.

A partir desses resultados foram conduzidos experimentos de compostagem em escala piloto, utilizando-se o fino de carvão como aditivo aos resíduos orgânicos ligno-celulósicos. Nesse trabalho, observou-se que as pilhas em que o carvão foi utilizado, não só apresentaram uma melhor capacidade de retenção de umidade, mas também uma melhor aeração proporcionada por esse material, o que impediu a formação de aglomerados que causam bolsões de anaerobiose, retardando o processo. Após o período de maturação das pilhas, os tratamentos com carvão obtiveram um maior rendimento de produto após peneiramento, uma vez que o carvão facilitou a desagregação das partículas. Como resultado, obteve-se um produto de cor escura e odor agradável, com características químicas e físicas apropriadas ao uso como condicionadores de solo e substrato agrícola (Tabela 4). A semelhança das Terras pretas de Índio, esse material teve, na sua constituição, resíduos vegetais e carvões.

Tabela 4. Características químicas do substrato agrícola obtido a partir da compostagem de aparas de grama, carvão e fosfato bicálcico (Benites, 2006).

| pH | M.O. | N | P | K | Ca | Mg | S | Na |
|-------|--------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| g/kg | | | | | | | | |
| 7,6 | 310,22 | 12,78 | 7,08 | 9,83 | 19,45 | 2,01 | 5,35 | 0,68 |
| Mn | Fe | Zn | Cu | Cr | Co | Cd | Pb | Mo |
| Mg/kg | | | | | | | | |
| 943 | 7870 | 59 | 18 | 6,6 | 1,0 | 0,9 | 21 | 1,4 |

M.O. - Matéria Orgânica obtida por calcinação.

Utilização de Fino de Carvão como Substrato para Mudanças

As características do fino do carvão mencionadas acima fez com que se desenvolvesse um trabalho para avaliar seu uso como substrato para produção de mudas. Conceitua-se como “substrato” o meio em que se desenvolvem as raízes das plantas cultivadas fora do solo *in situ* (Kämpf, 2000). Considera-se, como sua função primordial, prover suporte às plantas nele cultivadas (Kämpf, 2000 e Röber, 2000), podendo ainda regular a disponibilidade de nutrientes (Kämpf, 2000) e de água (Fonteno, 1996). Os melhores substratos devem apresentar, entre outras importantes características, fácil disponibilidade de aquisição e transporte, ausência de patógenos, riqueza em nutrientes essenciais, pH adequado, boa textura e estrutura (Silva et al., 2001). As propriedades físicas e químicas dos substratos podem variar muito. Dessa forma, é importante conhecê-los para poder adaptá-las às diferentes circunstâncias de uso (Verdonk et al., 1981). Entre as características físicas importantes na determinação da qualidade de um substrato destacam-se: densidade, porosidade total, espaço de aeração, boa retenção de água a baixas tensões de sucção.

Esse trabalho desenvolvido por Souza et al. (2006) teve como objetivo avaliar o efeito do uso do carvão como substrato alternativo e da aplicação de extrato pirolenhoso em diferentes substratos para produção de mudas de caju (*Arrabidaea chica* Verlot.) cultivadas em viveiro. O experimento foi desenvolvido no delineamento completamente casualizado em esquema fatorial 5^2 correspondendo a cinco tipos de substratos (Plantmax®, terriço, carvão, areia e areia+carvão), com e sem aplicação do extrato pirolenhoso em uma concentração de 0.3% em quatro aplicações em intervalos semanais. O experimento teve três repetições e cada parcela experimental foi composta de nove tubetes. Aos 60 dias após o plantio, foram realizadas avaliações do desenvolvimento das plantas. Os substratos foram avaliados quanto à capacidade de retenção da água. As amostras foram saturadas e então sucessivamente submetidas a uma pressão de 1.0; 1.5; 1.8; 2.0 e 2.3 pF na mesa de tensão. Os resultados mostraram que as mudas de caju tiveram um maior crescimento no substrato carvão (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios da altura, do número de rebrotos, do peso seco da parte aérea e do peso seco das raízes de Caju (*Arrabidaea chica* Verlot.), com 90 dias após a instalação do experimento.

| Substratos | Altura (cm) | N. Rebrote (unidade) | Parte Aérea (g) | Raiz (g) |
|--------------|-------------|----------------------|-----------------|----------|
| Terriço | 24.40 b | 2.19 bc | 2.032 bc | 0.323 b |
| Carvão | 30.43 a | 2.21 bc | 2.415 a | 0.407 a |
| Plantmax | 27.01 ab | 3.21 a | 2.153 ab | 0.357 ab |
| Areia | 15.39 d | 2.67 ac | 1.556 d | 0.188 c |
| Areia+carvão | 18.87 c | 2.77 ac | 1.795 bd | 0.220 c |

Médias seguidas da mesma letra na vertical não apresentam diferenças pelo Teste de Tukey ($p < 0.05$).

A adição de carvão na areia permitiu um crescimento das mudas de caju, entretanto o substrato areia não se mostrou adequado. As mudas de caju apresentaram um menor número de rebrotos no substrato carvão e terriço em relação ao substrato areia, areia + carvão e Plantmax (Tabela 5). A quantidade de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular foram maiores no substrato carvão e Plantmax em comparação com outros substratos testados. O substrato areia + carvão e areia foram os que apresentaram as menores quantidades de matéria seca da parte aérea.

Na Figura 7, são apresentadas as curvas de retenção de umidade dos substratos testados. O Plantmax e o carvão apresentam características semelhantes quanto à retenção de água, suas curvas são paralelas e sempre se mantêm acima dos demais substratos, indicando uma maior retenção de água em toda a faixa de tensão estudada. A areia foi o substrato que menos reteve água em todas as tensões.

Próximos Passos para a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

A possibilidade da transformação de uma parte do carbono presente nos resíduos orgânicos vegetais em formas mais estáveis, através de métodos de pirólise, abre perspectivas para utilização desses novos produtos como condicionadores do solo com potencial de aumentar a qualidade de solos pobres ou degradados, seja no aumento da capacidade de troca de cátions e conseqüente aumento da retenção e eficiência de nutrientes adicionados, como também no aumento da qualidade física do solo pelo aumento da capacidade de reter água facilmente disponível para as plantas e aumentar a agregação do solo. O desenvolvimento de tecnologia específica de carbonização visando à utilização do produto como condicionador do solo e as avaliações agrônômicas e ambientais da utilização desses produtos no solo constituem um desafio para a pesquisa em várias partes do mundo.

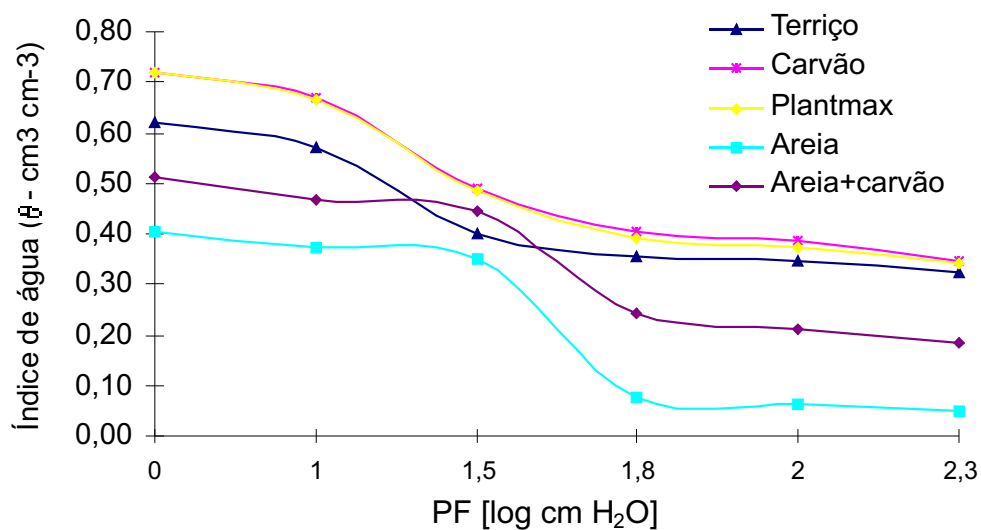


Fig. 7. Curva da retenção de água em diferentes substratos para produção de mudas.

Um efeito adicional da incorporação ao solo de carbono estabilizado de origem vegetal é a redução de emissões e sequestro de carbono para a atmosfera, com conseqüentes benefícios para a mitigação das reduções causadas pelas práticas agrícolas e como forma de atenuar os efeitos das mudanças climáticas globais.

Corte e Carbonização como Uma Alternativa ao Corte e Queima: Estudos Na Amazônia

Christoph Steiner
Wenceslau Gerales Teixeira
Sundari Narayan
Julie Major
Johannes Lehmann
Wolfgang Zech
Winfried E.H. Blum

Florestas tropicais estocam entre 20 e 25% do carbono terrestre (Bernoux et al., 2001). O solo sob floresta tropical contém aproximadamente a mesma quantidade de carbono que vegetação acima dela. Normalmente os solos contêm 2.7% C nos horizontes superficiais e 0.5% nos horizontes de subsuperfície até 100 cm de profundidade (Sombroek et al., 2000).

A rápida conversão da floresta Amazônica para sistemas agrícolas causa impactos no balanço global do carbono e no total das emissões líquidas de gases de efeito estufa. Este efeito é estimado numa liberação líquida de carbono do solo de 8.5 t C ha^{-1} , ou 11.7 milhões de toneladas de carbono para uma área de 1.38 milhões de hectares desmatados em 1990 (Fearnside e Barbosa 1998).

Mudanças nos sistema de uso da terra, particularmente o desmatamento, podem reduzir os estoques de carbono orgânico (CO) na ordem de 20% a 50% nas camadas superficiais do solo (Sombroek et al., 1993). A redução do CO é frequentemente responsável pela degradação dos solos nos trópicos (Tiessen et al., 1994). O sistema de corte e queima foi estudado por Tiessen et al., (1994) que mostrou perdas de 81% da camada de serrapilheira e 29% de CO até a camada de 15 cm em três anos. Tiessen et al. (1994) concluíram que o decréscimo acelerado da CO do solo por algumas práticas agrícolas pode levar à mineralização de metade dos nutrientes em dois anos. A agricultura de corte e queima não é sustentável sem fertilizantes após alguns de cultivo.

Em solos com baixa capacidade de retenção de nutrientes, as chuvas tropicais de alta intensidade podem facilmente lixiviar os nutrientes no solo, tais como o N fornecido através de fertilizantes nitrogenados que rapidamente atingem o subsolo onde ele se torna indisponível para a maioria dos cultivos (Giardina et al., 2000; Hölscher et al., 1997; Renck Lehmann 2004), tornando vezes a eficiência agronômica da adubação muito reduzida.

A agricultura de corte e queima é praticada por 300 a 500 milhões de pessoas, estando envolvido nesta atividade um terço das áreas agricultáveis do planeta, aproximadamente 1.500 milhões de hectares (Giardina et al., 2000; Goldammer 1993). Esta prática agrícola é considerada sustentável se forem adotados períodos de pouso adequados (até mais de 20 anos) seguidos de curtos períodos de cultivo (Kleinman et al., 1995). O aumento da população mundial e mudanças nas condições socioeconômicas não permitem que esta técnica seja sustentável na atualidade. A tendência de crescimento da população e redução das áreas disponíveis para cada agricultor leva a curtos períodos de pousio (Fearnside 1997). A manutenção de níveis adequados de matéria orgânica do solo (MOS) em solos tropicais poderá ser um novo passo para práticas de manejo sustentáveis das terras agrícolas nos trópicos, conseqüentemente reduzindo a pressão nas áreas prístinas remanescentes. O aumento dos estoques de carvão no solo parece ser um promissora opção de transformar resíduos orgânicos facilmente degradáveis em recalcitrantes *pools* de MOS (Fearnside et al., 2001; Glaser et al., 1998; 2001b; Zech et al., 1990). Contudo, carvão representa somente 1.7% da biomassa da floresta primária quando esta é queimada no tradicional sistema de corte e queima (Fearnside et al., 2001).

A existência de horizontes antrópicos e ricos em carbono em diferentes localidades do mundo, em especial na Amazônia, localmente denominadas de Terra Preta de Índio (TPI) indica que os solos pobres em cargas e nutrientes como os Latossolos e Argissolos podem ser transformados em solos férteis utilizando apenas resíduos orgânicos. A fertilidade das TPI é decorrente de uma adição antrópica de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Lima et al., 2002; Zech et al., 1990) e carbono pirogênico, carvão vegetal (Glaser et al., 2001a). Carvão vegetal é resistente no ambiente por séculos, sendo o responsável pela estabilidade dos estoques de carbono nas TPI. Atualmente e provavelmente no passado estas áreas são e foram intensivamente cultivadas.

Objetivos da Pesquisa

A fertilidade duradoura das TPI e o popular uso de resíduos vegetais carbonizados como condicionador do solo no Brasil (Steiner et al., 2004b) e em outras partes do mundo (principalmente no Japão) (Ogawa 1994) motivaram os estudos dos efeitos da aplicação de carvão vegetal em solos altamente intemperizados. A produção de carvão para melhoria da qualidade do solo (corte e carbonização) da biomassa da vegetação (florestas secundárias e resíduos das culturas) em substituição as emissões de CO₂ através da queima (corte e queima) poderá estabelecer um significativa redução das emissões de gases de efeito estufa e ser um importante passo para a conservação da matéria orgânica e sustentabilidade da agricultura tropical.

Neste capítulo são apresentados vários estudos realizados em Manaus (Steiner 2007) cujo principal objetivo foi verificar o efeito da aplicação de carvão vegetal no manejo do Latossolo Amarelo (xanthic Ferralsol) na terra firme em Manaus - Brasil. Os estudos foram conduzidos na Estação Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental no Km 30 da Rodovia AM-010. Neste capítulo também é descrito uma forma de manejo indígena da fertilidade do solo pela queima e uso de fontes orgânicas. Diferentes fontes de adição de resíduos orgânicos e fertilizantes minerais para a fertilidade do solo e produção de cultivos foram comparados e avaliados em experimentos de campo, utilizando quinze tratamentos baseados em quantidades iguais de carbono aplicados na forma de esterco de galinha, composto, carvão vegetal e liteira da floresta. Os cultivos avaliados foram quatro ciclos de culturas anuais com arroz (*Oryza sativa* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.), o experimento tinha cinco repetições. Um estudo paralelo foi realizado para verificar a influência da população microbiana do solo avaliado através da respiração do solo. O potencial de crescimento da população microbiana após adição de glucose pode ser utilizado como indicador da fertilidade do solo. Neste estudo foram utilizadas amostras de TPI para comparação.

A utilização de ¹⁵N marcado permitiu estudar a retenção de nitrogênio (N) em parcelas com adição de carvão ou composto em comparação com parcelas que receberam apenas fertilização mineral. A sucessão de plantas invasoras e a composição das espécies nas parcelas com diferentes tratamentos também foram avaliadas. Manejo orgânico e inorgânico da fertilidade do solo foi investigado em dois cultivos perenes (bananeira e guaranazeiro) avaliando-se a respiração e as propriedades químicas do solo. Com o objetivo de estudar a influência do carvão, nitrogênio e fósforo foram usado um experimento utilizando o delineamento em fatorial confundido. As bananeiras (*Musa sp.*) receberam fertilizantes minerais em adição com carvão vegetal. Os guaranazeiros (*Paullinia cupana*) foram fertilizados utilizando fontes orgânicas, esterco de galinha e farinha de ossos. Para testar a viabilidade da aplicação de resíduos carbonizados (carvão vegetal) em fazendas da região, estudos envolvendo parâmetros de nutrição de plantas, lixiviação de nutrientes e qualidade física do solo (densidade do solo, capacidade de retenção de água) foram avaliados em parcelas com adição de carvão vegetal em diferentes granulometrias. Estes estudos foram comparados com as práticas tradicionais utilizadas no manejo do solo num bananal na região. A influência do carvão e do extrato pirolenhoso na atividade microbiana foi avaliada em um experimento de casa de vegetação por meio de avaliações da respiração basal, respiração induzida pelo substrato e pela avaliação do crescimento exponencial da população após a adição do substrato, e a efetividade do carvão como um carreador de liberação lenta de nutrientes (*slow release*). O efeito de doses de N, P, e K foi estudado em experimentos em casa de

vegetação. Mudanças de arroz foram fertilizadas com fontes minerais de N, P, e K utilizando-se carvão vegetal e caulinita como carreador dos nutrientes, para se verificar a disponibilidade dos nutrientes para as plantas e microrganismos.

Finalmente um estudo socioeconômico sobre a produção de carvão vegetal coletou informações através de entrevistas e análise de dados sobre o impacto econômico desta atividade, composição demográfica e acesso à terra, importância da força de trabalho e do capital financeiro nesta atividade. Foi dada ênfase à produção de carvão em relação à seleção da madeira a ser carbonizada, força de trabalho necessária, produção e retorno econômico da atividade comparada com outras atividades e, principalmente, atividades agrícolas tradicionais na região. Este estudo mostrou as técnicas de carbonização utilizadas, os riscos desta atividade e o potencial uso de resíduos da produção carvoeira na agricultura. Neste capítulo é discutida a viabilidade da adoção do sistema de corte e carbonização como forma de limpeza e preparo do terreno sem contar com a possibilidade futura de contar com subsídios do mercado de carbono para pequenos agricultores familiares, e créditos devidos à redução das emissões e possível sequestro de carbono no solo.

Resumo dos Resultados Alcançados

Manejo indígena da fertilidade do solo (Steiner et al., 2008d)

O manejo do fogo e adição de resíduos orgânicos são as principais práticas de manejo utilizadas pelas populações indígenas para manejo da fertilidade do solo. Pequenas áreas (alguns metros quadrados) são queimadas para criar o que é denominado de “terra queimada” nestas áreas são adicionados também resíduos orgânicos carbonizados (cinzas e carvões) que são utilizados para aumentar a fertilidade em locais para a cultivo de algumas plantas medicinais e condimentares (Fig. 1). Após a queima e criação da terra queimada, o solo tem um forte odor de ácido pirolenhoso, o que eles determinam de “terra cheirosa” este tratamento parece ter um efeito estimulante para atividade microbiana. Entretanto, estas áreas têm fertilidade menor que a maioria das Terras Pretas de Índio (TPI). Os conteúdos de Ca, K, Mg, Zn, Mn ficaram dentro da faixa encontrada nas TPI apesar dos teores totais serem menores. Fósforo e enxofre apresentaram níveis similares àqueles encontrados nas denominadas *Terras Mulatas* (TM). As TPI são frequentemente acompanhadas de faixas mais amarronzadas denominadas TM. Sombroek et al., (2002) e Woods e McCann (1999) acreditam ser estas áreas campos agrícolas das populações pré-colombianas e se situavam próximos às aldeias. A sua fertilidade foi criada por um manejo com a queima parcial de material orgânico, gerando relativamente grandes quantidades de carvão vegetal que confere a coloração mais escura (amarronzada) nestas áreas

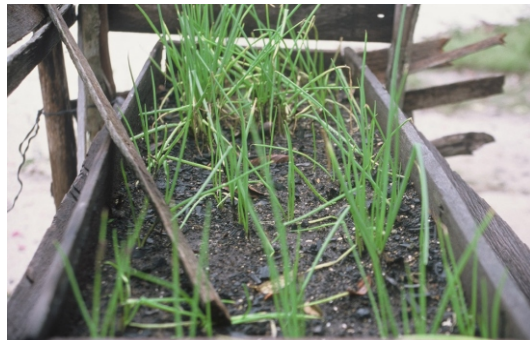


Fig. 1. Hortas e jardins cultivados com resíduos de carvão vegetal Amazonas - Brasil.

Influência da adição de carvão vegetal e extrato pirolenhoso na respiração edáfica (Steiner et al., 2008a)

Quando carvão vegetal foi aplicado sem ter passado por nenhuma lixiviação das cinzas (diretamente dos fornos de carvão), os efeitos na respiração do solo, na biomassa microbiana, no crescimento da população microbiana e sua eficiência, avaliados através do quociente metabólico da produção de CO_2 por biomassa microbiana, mostrou uma resposta linear direta e significativa com o aumento das quantidades de carvão utilizadas (50, 100 e 150 g kg^{-1} solo, Fig. 2). Aplicações de extrato pirolenhoso causaram um rápido decréscimo da respiração microbiana do solo, e também da biomassa microbiana e do crescimento da população microbiana. Nós supomos que os compostos presentes no extrato pirolenhoso contêm poucas substâncias facilmente degradáveis que possam ser utilizados pelos microrganismos e adicionalmente uma pequena quantidade de agentes inibidores da população microbiana.

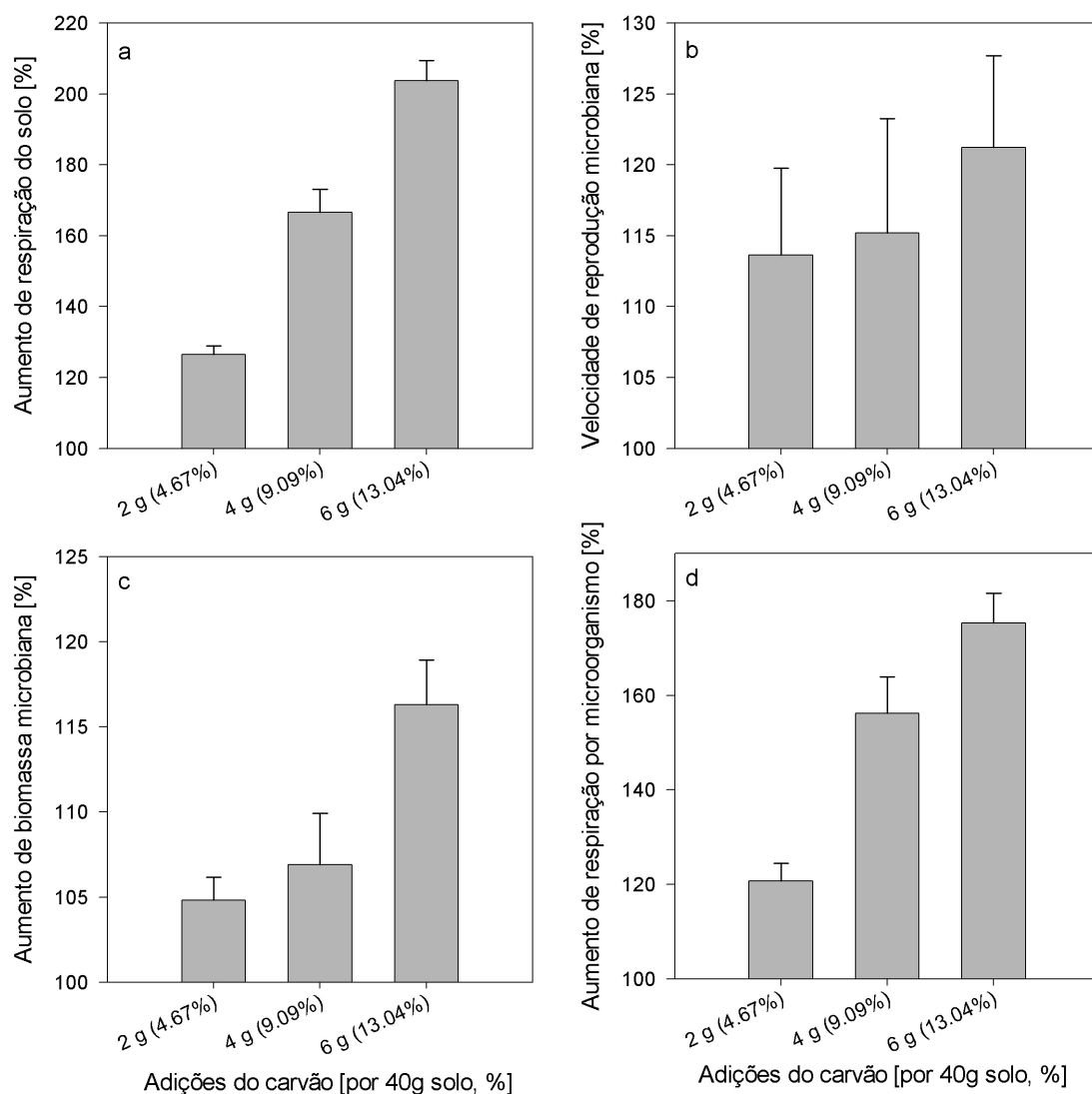


Fig. 2. Aumento da atividade microbiana após a adição de carvão vegetal recente (não lixiviado, diretamente do forno de fabricação). a) respiração do solo (BR), b) velocidade de reprodução após adição da glucose, c) biomassa microbiana, d) percentual de respiração por microorganismo

Efeito de longo tempo da aplicação de esterco, compostos e fertilizantes Minerais (Major et al., 2005; Steiner et al., 2008c; Steiner et al., 2007; Steiner et al., 2004a)

O efeito duradouro na melhoria da fertilidade do solo e o efeito sinérgico da aplicação de carvão vegetal combinado com fertilizantes foi observado em um experimento de campo utilizando 15 diferentes tratamentos envolvendo a adição de diferentes fontes de carbono. A adição de esterco de galinha resultou significativamente ($p < 0.05$) na maior produção acumulada de quatro cultivos sucessivos de arroz e sorgo (12.4 Mg ha^{-1}). As parcelas com adição de esterco de galinha mostraram também aumentos significativos nos valores de pH, P disponível (Mehlich-3), Ca e Mg trocáveis na superfície do solo. As parcelas com uma única aplicação de composto produziram significativamente quatro vezes mais grãos ($P < 0.05$) que as parcelas que receberam fertilizantes minerais de forma parcelada. As parcelas com aplicação de carvão vegetal e fertilizantes NPK aumentaram o crescimento das plantas e dobraram a produção de grãos em comparações com as parcelas fertilizadas somente com NPK ($P < 0.05$, Fig 3). Um maior crescimento e produção dos cultivos levarão a uma maior exportação de nutrientes, entretanto os nutrientes disponíveis no solo nas parcelas com carvão não decresceram na mesma magnitude que as parcelas que receberam simplesmente fertilizantes minerais. Nas parcelas onde foi aplicado o carvão vegetal também mostraram uma redução significativa dos teores de alumínio trocável. A resiliência da matéria orgânica do carvão nas parcelas com este tipo de material, mostrou uma redução de perdas de 8% para 4% em comparação com parcelas em que foram utilizados fertilizantes. Isto indica que a natureza recalcitrante do carbono contido no carvão vegetal e sua maior estabilidade no solo em comparação reduziu as perdas de 27% nas parcelas com adição de esterco de galinha e composto e de 25 % nas parcelas controle.

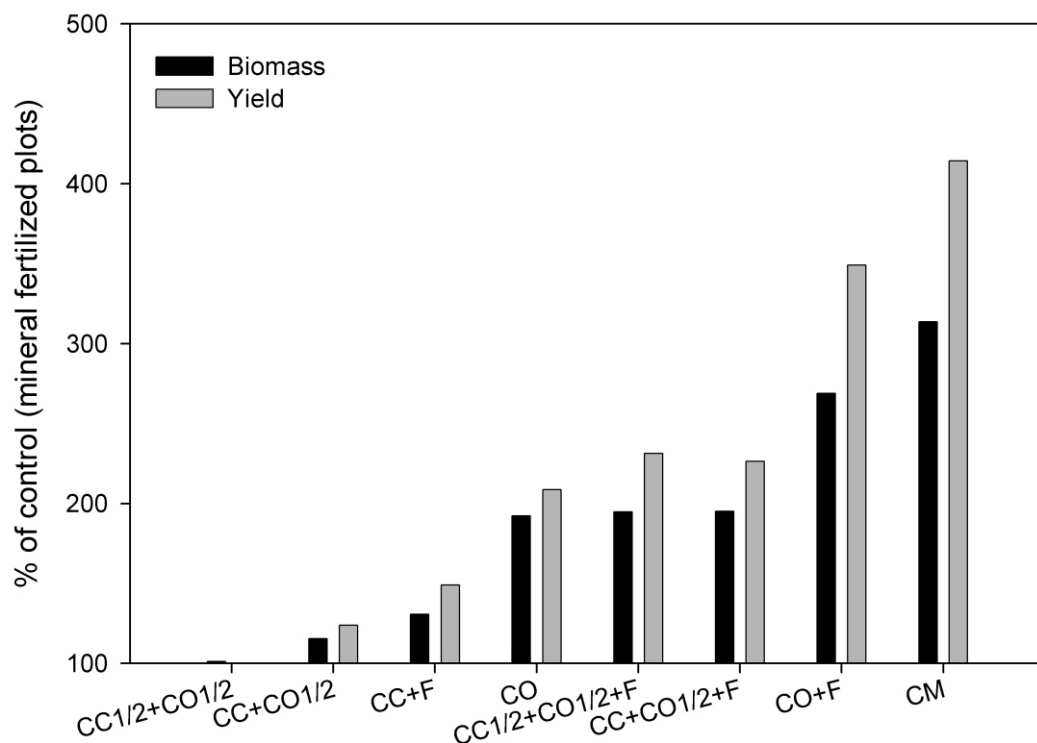


Fig 3. Produção acumulada de biomassa em quatro colheitas e crescimento devido a diferentes sistemas de manejo do solo. CC = carvão (11 Mg ha^{-1}), CO = composto (47 Mg ha^{-1}), F = fertilizante mineral (primeira adubação: 30, 35, 50 NPK e 2100 kg ha^{-1} calcário dolomítico ($\sim 460 \text{ Ca}$, 270 Mg); segunda adubação: 55, 40, 50 NPK e 430 kg ha^{-1} calcário, CM = chicken manure Esterco de galinha (47 Mg).

O crescimento da população microbiana mostrou uma correlação positiva significativa com a disponibilidade de nutrientes e com a produção de biomassa. Solos com adição de fertilizantes minerais e carvão e amostras de TPI mostraram um maior potencial de crescimento da população microbiana, entretanto mostraram reduzidas taxas de respiração microbiana na ausência de uma forma facilmente degradável de carbono (glucose) (Steiner et al., 2004a). Amostras de TPI mostraram uma reduzida taxa de respiração do solo antes da adição do substrato, mas uma elevada taxa respiratória e um elevado crescimento da população foi determinado após a adição de substrato. Solos florestais apresentam normalmente uma elevada taxa respiratória e um baixo crescimento da população, isto é consequência dos elevados teores de MO facilmente biodegradável no solo superficial da floresta, entretanto com pequena disponibilidade de nutrientes. A TPI apresenta um comportamento inverso com MO recalcitrante e elevada disponibilidade de nutrientes.

A recuperação de ^{15}N na biomassa foi significativamente maior nas parcelas onde o composto foi adicionado ao solo, provavelmente devido à maior produtividade nestas parcelas. A retenção no solo foi significativamente maior nas parcelas com adição de carvão após a segunda colheita devido a maior retenção de N e ciclagem de resíduos dos cultivos que permaneceram nas parcelas após a colheita. O ^{15}N total recuperado (no solo, culturas, resíduos e grãos) foi significativamente maior ($p < 0.05$) nas parcelas que receberam composto, carvão e carvão combinado com composto em comparação com parcelas que receberam apenas fertilizantes minerais (Fig. 4).

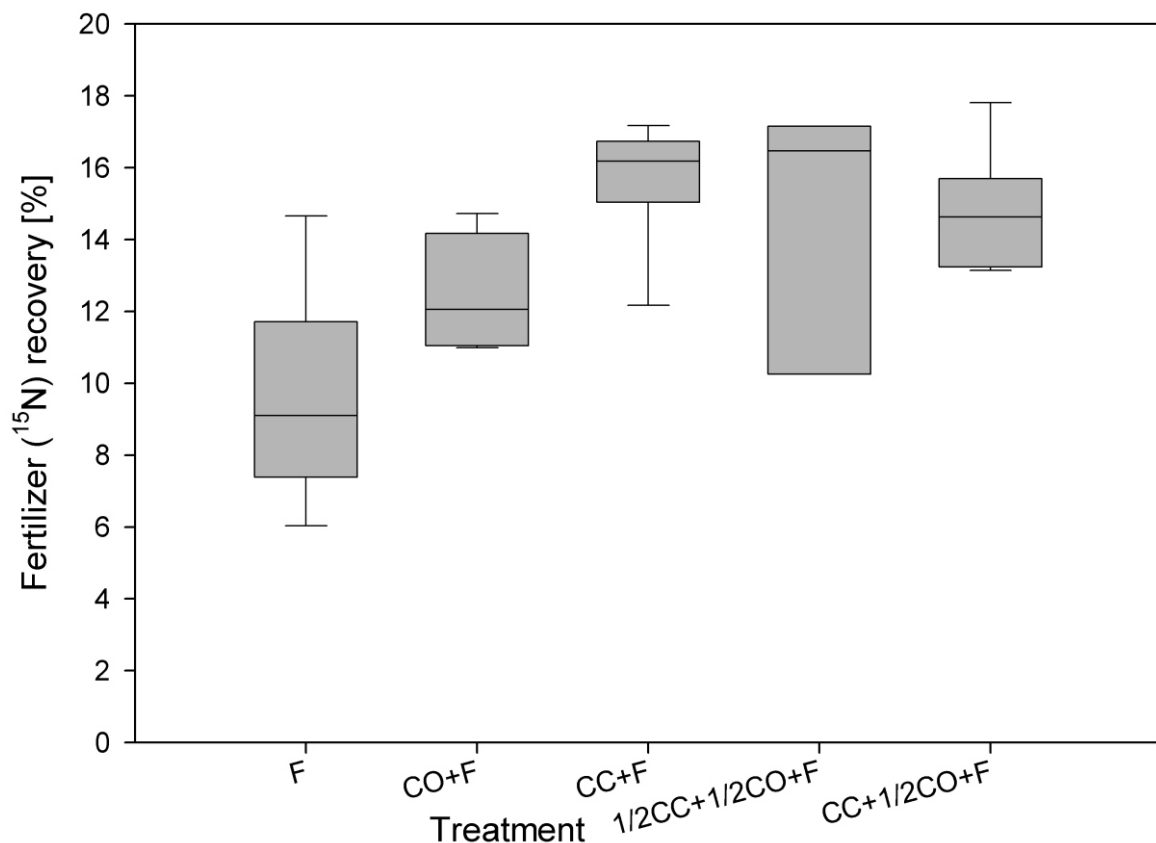


Fig. 4. Fertilizantes minerais recuperados (^{15}N) do solo após dois ciclos de cultivos. CC = carvão vegetal (11 Mg ha^{-1}), CO = composto (47 Mg ha^{-1}), F = fertilizantes minerais ($55, 40, 50 \text{ NPK e } 430 \text{ kg ha}^{-1}$ calcário).

A aplicação de carvão vegetal somente não afetou a porcentagem de cobertura do solo ou a diversidade de espécies invasoras, entretanto um efeito sinérgico foi detectado nas parcelas que receberam carvão e fertilizantes. A porcentagem de cobertura por ervas invasoras foi de 2 % nas parcelas que receberam somente carvão vegetal, de 45 % nas parcelas com fertilizantes minerais e 66 % nas parcelas em que foram adicionados carvão vegetal e fertilizantes. Os efeitos na população de ervas invasoras foi observado aproximadamente 2,5 anos após o início do experimento e aproximadamente um ano após a última aplicação de fertilizantes.

Aplicações de carvão vegetal em cultivos perenes (Steiner 2007)

A comparação da fertilização com fontes orgânicas e minerais em cultivos de banana (*Musa paradisiaca*) e guaraná (*Paulinia cupana*) mostrou que a aplicação de carvão contribui para a manutenção da fertilidade do solo. A aplicação de carvão aumentou os valores de pH, N total e os teores trocáveis de sódio (Na), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu) e também reduziu os teores de alumínio trocável ($p < 0.05$) no cultivo da banana. Estas alterações na qualidade do solo significativamente aumentaram a respiração basal e eficiência microbiana em termos da liberação de dióxido de carbono por unidade microbiana no solo.

A Biomassa Microbiana

A biomassa microbiana, eficiência e o crescimento da população após a adição do substrato foi significativamente maior com aumento dos níveis de fertilizantes orgânicos adicionados, provavelmente em razão da maior disponibilidade de nutrientes no solo. Em particular, nas parcelas com esterco de galinha todos os nutrientes aumentaram com exceção do Al e Fe que tiveram seus níveis reduzidos ($p < 0.05$). Farinha de ossos aumentou os teores no solo de Mg e N e reduziu significativamente o conteúdo de Al.

Aplicação de carvão vegetal em covas para plantio de banana (Steiner et al., 2008e)

A redução da acidez do solo devido a aplicação de carvão vegetal foi verificada em experimento numa plantação de banana no Município de Presidente Figueiredo (AM), Brasil. As parcelas que receberam aplicações de carvão tiveram também um aumento significativo dos teores de K trocável nas profundidades de 0.2 0.4 m. Resultados dos teores foliares mostraram teores significativamente maiores de Ca, Mg, e S em folhas oriundas de parcelas que receberam aplicação de carvão vegetal. Não foram detectadas diferenças na produção de banana avaliada apenas na primeira colheita.

Carvão vegetal como condicionador do solo (Steiner et al., 2008b)

Em experimentos conduzidos em casa de vegetação a lixiviação de nitrogênio foi significativamente reduzida ($P < 0.05$) quando sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ foi aplicado nos vasos que continham carvão. Em contraste, a quantidade lixiviada de K foi significativamente ($P < 0.05$) maior nos vasos com carvão aonde foi aplicado cloreto de potássio (KCl) provavelmente em razão da liberação de K residual de cinzas que havia no carvão. Ao final do experimento o conteúdo de N e de K era significativamente maior nos tratamentos onde foi adicionado carvão. O carvão simultaneamente pode servir de fonte adicional de K e aumentar a retenção de N. O conteúdo de fósforo não foi influenciado pela presença ou ausência de carvão. A produção de biomassa e crescimento da população microbiana não foram influenciadas nem pelas diferentes fertilizações nem pela adição de carvão, provavelmente por causa do excesso de nutrientes disponíveis. A respiração do solo em relação ao tamanho da população microbiana ($\text{CO}_2\text{-C h}^{-1} \text{Cmic}^{-1}$) foi menor no solo no qual foi adicionado carvão.

Produção de carvão e uso na agricultura (Steiner et al., 2004b; Swami et al., 2008)

Os uso dos resíduos de carvão vegetal (pedaços pequenos de carvão não são aceitos para o mercado de carvão para churrascos) é utilizado de diferentes maneiras que variam desde suplemento para ração de galinhas poedeiras, com seu uso direto, e como componente de composto orgânico. A produção de carvão vegetal é praticada como uma alternativa do método de limpeza do terreno tradicionalmente utilizado (corte e queima). Entretanto na maioria das vezes o carvão vegetal não é utilizado como condicionador do solo e somente os resíduos não comercializados (pó e pedaços pequenos) são utilizados.

Os estudos de aspectos socioeconômicos da produção de carvão na região de Manaus e da eficiência do processo da fixação de carbono pode distinguir grupos sociais que trabalham no mercado do carvão nesta região. Um primeiro grupo, denominado aqui de carvoeiros, tem na produção de carvão sua principal atividade econômica, sendo esta sua única fonte de rendimentos. Normalmente este grupo tem esta atividade devido a fracasso em atividades agrícolas. Um segundo grupo de produtores de carvão tem esta atividade de forma secundária, sendo os recursos da venda do carvão uma fonte suplementar de renda. Este grupo normalmente tem um emprego fixo na cidade e a facilidade de acessar o mercado na cidade permite que tenham rendimentos até sete vezes superiores ao grupo dos carvoeiros. Nas entrevistas realizadas ficou claro que a principal razão, (mencionada por 77% dos entrevistados) para a entrada na atividade carvoeira, foi o fracasso de manter atividades agrícolas rentáveis nestas localidades.

A média dos valores da fixação de carbono nos fornos utilizados, denominados regionalmente de “rabo quente” (Fig. 5) foi de 42% (da quantidade total de carbono existente na madeira para a quantidade total existente no carvão produzido) e a quantidade de carvão recuperado, estimado pelo peso da madeira foi de 25.3%. Somente cerca de 3.7% do carbono presente na madeira (entretanto valores altos quando comparados com o carvão produzido por eventos de corte e queima) puderam ser transferidos para *pools* recalcitrantes de carbono no solo, se apenas os resíduos acumulados nas áreas de produção forem usados para melhoria do solo.



Fig. 5. Técnica de carbonização utilizando forno de tijolo de barro, conhecido localmente no Amazonas como “rabo quente”.

Uma maior proporção de resíduos de carvão (pequenos pedaços que não têm mercado para a utilização em churrascos) é gerada durante uma reclassificação e empacotamento pelos comerciantes de carvão no mercado de varejo, estes resíduos são descartados ou comercializados a preços bem reduzidos para uso agrícola em propriedades próximas da cidade. Considerando os baixos custos para a produção artesanal de carvão vegetal (~ 48 US \$ / T), o uso destes material poderá ser utilizado nos sistemas de agricultura itinerante como condicionador do solo e nas reduções das emissões de gases de efeito estufa, que com as futuras negociações poderá gerar créditos adicionais. O sistema de corte e carbonização em substituição ao tradicional sistema de corte e queima poderá se tornar se uma prática de seqüestro de carbono.

Conclusões

A produção de carvão vegetal é uma atividade comum em muitas comunidades da Amazônia é frequentemente utilizada como método alternativo para a limpeza do terreno. Os resíduos da produção de carvão vegetal são abundantes e podem ser utilizados para melhoria da qualidade do solo. A aplicação de carvão vegetal influencia a qualidade do solo de forma complexa, sendo importante em reduzir a acidez e a atividade do alumínio na solução do solo. Adicionalmente a aplicação de carvão tem o potencial e reduzir a lixiviação de N e adicionar potássio ao solo. A aplicação de carvão vegetal aumentou a taxa de respiração da população microbiana do solo após a adição de substrato, independentemente da adição da fertilização, o mesmo comportamento foi observado nas amostras oriundas de sítios de Terra Preta do Índio, entretanto a respiração do solo foi baixa nas parcela de controle.

Após a decomposição da fração mais disponível do carvão vegetal, formas recalcitrantes são criadas e supostamente são um habitat preferencial para muitos microrganismos (Ogawa 1994) e também podem suportar uma comunidade microbiana mais ativa (Pietikäinen et al., 2000). Uma fonte de carbono de reduzida taxa de degradação, como o carvão vegetal, conjuntamente com fontes de nutriente minerais pode provocar um aumento na população microbiana.

Os efeitos da aplicação de carvão vegetal nas características biológica, química e física do solo são complexas tornando difícil isolar um efeito simples, entretanto sua aplicação pode levar a aumentos significativos no crescimento e produção de várias espécies de plantas.

São necessários ampliar os estudos agronômicos das aplicações de carvão, assim como do uso potencial de fontes alternativas de biomassa para avaliações de sistema de preparo do terreno, como o corte e carbonização. O acesso ao mercado global de carbono poderá facilitar o uso de carvão vegetal como condicionador do solo e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, adicionalmente poderá indiretamente contribuir para a redução do desmatamento.

Utilização de Resíduos de Carvão Vegetal Associado a Fontes Orgânicas de Nutrientes no Manejo Sustentável do Solo e do Guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) na Amazônia Central

Murilo Rodrigues de Arruda
Wenceslau Gerales Teixeira

O Guaranazeiro

O guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é um dos produtos agrícolas mais importantes do Amazonas, sendo cultivado por muitos produtores, em especial, agricultores familiares. O guaranazeiro é uma dicotiledônea, com flores e sementes, pertencente à família Sapindaceae, com 140 gêneros e cerca de 1.500 espécies conhecidas, entre as quais a lichia (*Litchi chinensis*) e o rambutan (*Nephelium lappaceum*) (Botany, 2007).

Nas matas, tem hábito de crescimento escandente, crescendo na forma de um cipó ou liana até atingir o extrato superior das árvores, chegando a 10m de altura e, quando cultivado em campo aberto, tem a forma de um arbusto subereto com no máximo três metros de altura (Cavalcante, 1976). O guaranazeiro é uma espécie monóica e alógama, com a polinização sendo feita basicamente por abelhas (Gondim, 1978).

O guaranazeiro deve ser preferencialmente cultivado em locais com temperatura média anual mínima e máxima de 23°C e 28°C respectivamente, e precipitação anual variando entre 1.500 mm e 3.000 mm, com um período de seca definido, para que haja indução do florescimento (Pereira, 2005).

A produtividade do guaranazeiro no Amazonas está muito aquém de seu real potencial, além do fato da cultura estar sendo paulatinamente superada, em produção, por outros Estados. Em 2004 o Brasil produziu 3.844 t de guaraná, das quais 886 t se originaram do Amazonas, ou seja, 23 % do total, com uma produtividade de 153 kg ha⁻¹, enquanto a Bahia obteve em 2004 uma produção de 2.350 t (61 % do total), com uma produtividade de 391 kg ha⁻¹ (IBGE, 2007).

A baixa produtividade do guaranazeiro no Amazonas ocorre devido à falta de qualidade das mudas utilizadas, idade avançada das plantações e ataque de pragas e doenças (Atroch, 2001; Cravo, 2001), além do manejo inadequado, como o controle de plantas daninhas e a adubação. O lançamento de variedades de guaranazeiro de alta produtividade e resistentes à antracnose (Atroch, 2001), a partir de 1999, foi o ponto de partida para solucionar estes problemas, na medida em que as plantações velhas, originadas de sementes, estão sendo substituídas por novos cultivos com o uso de mudas produzidas por estaquia. Com isso, a nutrição das plantas passou a ser uma limitação para o guaranazeiro atingir todo o seu potencial produtivo.

As recomendações de adubação para o guaranazeiro foram, no passado, baseadas nas exigências de outras culturas, como o cacau (Cravo et al., 1999). Castro (1992) afirmou que a elevada variabilidade genética dos guaranazais, oriundos de propagação sexuada (sementes), interferiu consideravelmente nos resultados dos experimentos de adubação. Isso porque, muitas vezes, não se conseguia diferenciar o resultado do tratamento aplicado do comportamento do genótipo dentro do experimento, impedindo concluir se a resposta a um determinado tratamento era em razão do tratamento em si, ou do comportamento genético peculiar de cada planta.

Chepote et al. (1984), demonstraram, através de um experimento com mudas de guaranazeiro em solução nutritiva, que a omissão de nitrogênio, fósforo ou enxofre diminuiu a produção de matéria seca em mais de 90%, quando comparado com a solução completa. Em menor grau, a omissão de potássio e magnésio diminuiu a produção de matéria seca das mudas em 50% aproximadamente. Os autores verificaram, ainda, diminuição na quantidade de matéria seca produzida quando foram omitidos o ferro e o manganês. Para o zinco, cobre e molibdênio não foram observadas diferenças no desenvolvimento da planta, pois provavelmente, a concentração destes micronutrientes nas sementes foi suficiente para atender a demanda das mudas de guaranazeiro durante os 45 dias do estudo.

No Amazonas, em levantamentos de campo, observa-se que o guaranazeiro é cultivado principalmente em Latossolos amarelos, textura muito argilosa, pobres em nutrientes e suscetíveis à degradação se manejados inadequadamente. A planta não tolera solos encharcados e compactados, devendo ser cultivada em locais drenados (Pereira, 2005).

Solos da Amazônia e Terras Pretas de Índio

De acordo com Cravo e Smith (1997), as maiores limitações em termos de fertilidade de solo para a agropecuária na Amazônia são a deficiência de fósforo, seguido do potássio, nitrogênio e magnésio, além da elevada concentração de alumínio e da acidez. Segundo Moreira e Malavolta (2002) 82, 75, 88 e 74% dos solos do estado do Amazonas possuem teores baixos ou muito baixos de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, respectivamente. Ainda segundo os autores, 93% destes solos possuem saturação de bases inferior a 20%, e 76% possuem saturação com alumínio alta ou muito alta, ou seja, pelo menos $\frac{3}{4}$ da CTC destes solos é preenchida por alumínio tóxico às plantas.

Essa predominância de solos pobres em nutrientes e com restrições à agricultura seria um fator limitante para a manutenção de grandes populações na Amazônia, como se verifica hoje, na produção incipiente de alimentos no Amazonas. Entretanto, alguns autores defendem que populações de quase sete milhões de pessoas podem ter habitado no passado a Amazônia (Denevan, 1976; Smith, 1980), em grandes e densas povoações (Heckenberger, 2003). Este contingente de pessoas pode ter sido mantido pela agricultura praticada nas várzeas, com seus solos fertilizados pelas enchentes dos rios de água barrenta (com elevada quantidade de substâncias minerais e orgânicas em suspensão) e através de plantios sobre manchas de solo com características químicas e físicas distintas dos solos adjacentes, as denominadas Terras Pretas de Índio (TPI).

Estes solos, ricos em matéria orgânica, fósforo, cálcio e magnésio, zinco e manganês, estão discutidos em detalhes neste volume quanto às características químicas (Falcao et al.; Adonis et al.; Madari et al.), físicas e hídricas (Teixeira et al.) e geoquímicas e históricas (Kern et al.). Uma característica que merece atenção especial nas TPIs é o elevado teor de matéria orgânica e de carbono total, altamente estável, e que lhes fornece a propriedade de ser cultivadas por anos, com poucas alterações em suas características físico-químicas (Glaser et al 2001), além de ter potencial para funcionar como um dreno de carbono da atmosfera, aspecto que é discutido em detalhes neste volume por Tony et al.

A gênese da formação dos horizontes antrópicos nas TPIs não é ainda totalmente compreendida. Entretanto, há indícios de ação do homem pela acumulação de resíduos orgânicos e uso do fogo. O entendimento da formação e da estabilidade dos elevados teores de carbono e estoques de nutrientes nos horizontes antrópicos das TPIs pode ser um caminho para transformar este conhecimento em tecnologia e disponibilizá-lo para os agricultores.

Uma tentativa para a obtenção de algumas propriedades semelhantes às encontradas nos horizontes antrópicos das TPIs é o uso de resíduos de carvão vegetal como fonte de carbono estável, em conjunto com fontes de nutrientes orgânicos, como os esterco, farinhas de osso e peixe, de forma provavelmente semelhante aos resíduos orgânicos utilizados, de forma intencional ou não, pelas populações indígenas no passado, criando um horizonte com elevados teores de carbono e rico em nutrientes.

Há na literatura resultados promissores sobre o uso de resíduos de carvão vegetal como condicionador, aumentando a disponibilidade de nutrientes e diminuindo a acidez do solo (Topoliantz et al., 2002; Topoliantz et al. 2005). Dessa forma, a tecnologia inspirada nas características das TPIs poderá vir a ser uma alternativa agrônômica, social e ambientalmente sustentável, para a agricultura familiar na Amazônia e, em especial, para a guaranaicultura pelo seu caráter de planta pouco extrativa e perene.

Neste capítulo serão apresentados resultados iniciais de um experimento de longo prazo cujo objetivo é conhecer a influência de resíduos de carvão vegetal, esterco de galinha e farinha de osso nas propriedades químicas e físicas do solo, bem como na sustentabilidade da cultura do guaranazeiro

Material e Métodos

O experimento foi instalado em março de 2003 no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus (latitude 2°53'29.14"S e longitude 59°58'39.90"O, 99m de altitude), em um Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa. O local do experimento foi utilizado até o final dos anos 80 para o cultivo de seringueira em consórcio com espécies frutíferas, tendo sido abandonado a partir do início da década de 90. Em 2002, época do preparo do terreno para o plantio do guaranazeiro, a área se encontrava na forma de capoeira.

A área total do experimento é de dois hectares. Neles foram plantadas cinco cultivares de guaranazeiro: BRS - Amazonas, BRS - Maués, BRS - CG189, BRS - CG611 e BRS - CG612. O espaçamento utilizado foi de 5 x 5 m com 400 plantas por hectare. Aplicou-se na cova, 30 dias antes do plantio, três litros de esterco de galinha em todas as plantas, conforme recomendado pela Embrapa (1999). Estão sendo comparadas duas fontes de adubos orgânicos: esterco de galinha e farinha de osso e um condicionador do solo, no caso, resíduos de carvão vegetal.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial. Os fatores principais são carvão, esterco de galinha e farinha de osso em três doses, totalizando 27 tratamentos (parcelas) por cultivar. Cada parcela é constituída de seis plantas, totalizando 162 plantas por clone. As doses de esterco de galinha e de resíduos de carvão foram de 0; 8 e 16 L por planta, e de farinha de osso de 0; 200 g e 400 g por planta. Os resíduos de carvão foram passados em peneira de 10 mm de abertura para homogeneização do produto. O esterco de galinha foi originado de animais destinados à produção de ovos, ou seja, não se trata de cama de frango com a adição de outros materiais, como serragem, mas sim do esterco "puro". Cada cultivar é considerada um experimento independente e pode ser avaliada independentemente, no caso de uma ou mais cultivares não apresentarem desenvolvimento satisfatório.

Os adubos foram aplicados a lanço, em cobertura, sem incorporação, na área de projeção da copa das plantas. Nos três primeiros anos após o plantio (2003, 2004 e 2005), a adubação de cobertura ocorreu em outubro, antes do início do período mais chuvoso, priorizando o estabelecimento e o desenvolvimento vegetativo das plantas. A partir de 2006, as adubações foram realizadas em maio, antes do florescimento, visando à produção de sementes.

Para avaliar o efeito dos tratamentos no solo, foram coletadas amostras apenas na cultivar BRS Maués, por apresentar o melhor desenvolvimento vegetativo e maior potencial de produção. As amostras de solo foram retiradas em abril de 2004 e janeiro de 2007, seis e 39 meses após a primeira adubação, respectivamente. A amostragem foi feita com trado, na profundidade de 0 a 10cm na projeção da copa das quatro plantas com maior crescimento por tratamento, em quatro diferentes pontos (Norte Sul Leste Oeste), para sua posterior homogeneização e retirada de uma amostra composta.

Analisou-se o pH em água; carbono orgânico (Método de Walkley e Black); fósforo; potássio; cálcio; magnésio; hidrogênio e alumínio, de acordo com as metodologias propostas por Silva (1999). Foi avaliado ainda o grau de flocculação das argilas a partir de sua dispersão em água e NaOH 1 mol L⁻¹, pelo método da pipeta, de acordo com metodologia descrita por Embrapa, 1997, nas amostras coletadas em abril de 2004.

Em 2003, foi realizada a análise do esterco de galinha, utilizando-se metodologia para análise de solos descrita por Silva (1999). A farinha de osso foi analisada por duas metodologias: $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (3:1) utilizada em análise foliar e que a rigor mostraria o teor total dos nutrientes, de acordo com o proposto por Malavolta et al. (1997) e metodologia para análise de carbonato de cálcio (calcário) descrita por Silva (1999) para efeito de comparação, em razão dos poucos trabalhos na área, que utilizam esta fonte de nutrientes.

Foi avaliado o grau de floculação das argilas a partir de sua dispersão em água e $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$, pelo método da pipeta, de acordo com metodologia descrita por Embrapa, 1997, nas amostras coletadas em abril de 2004.

Resultados e Discussão

A elevada acidez (pH em água de 3,1) e saturação de bases, de apenas 2,2%, com os teores de P, Ca e Mg muito baixos e a CTC basicamente preenchida por hidrogênio e alumínio (Tabela 1) mostram as limitações dos solos da Amazônia Central em termos de fertilidade. Contudo, especificamente neste experimento, é provável que tenha ocorrido uma maior degradação da área como consequência de seu preparo e uso inadequados no passado, quando foi cultivada com seringueira em consórcio com fruteiras. Além disso, o preparo inicial da área para o plantio atual também foi feito incorretamente com a retirada da camada superficial de solo, particularmente dos primeiros cinco centímetros, onde se concentra a maior parte da serrapilheira, matéria orgânica e nutrientes desses solos.

Tabela 1. Análise de solo, imediatamente antes da instalação dos tratamentos. Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus, 2002.

| pH água | P mg/dm ³ | K mg/dm ³ | Ca cmol/dm ³ | Mg cmol/dm ³ | Al cmol/dm ³ | H+Al cmol/dm ³ | T cmol/dm ³ | V % | M.O. % |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|--------|-----------|
| 0 - 20 cm | | | | | | | | | |
| 3,1 | 3 | 32 | 0,06 | 0,06 | 1,5 | 8,9 | 15,2 | 2,2 | 3,7 |
| 20 - 40 cm | | | | | | | | | |
| 3,6 | 0 | 20 | 0,04 | 0,05 | 1,2 | 6,5 | 6,7 | 2,1 | 2,2 |

P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7; M.O. carbono orgânico * 1,724 Walkley-Black.

A análise do esterco de galinha poedeira utilizado na adubação de cova e em cobertura, encontra-se na Tabela 2. Observam-se os elevados teores de fósforo e potássio assim como quantidades consideráveis de cálcio, magnésio e sódio, além de 29% de matéria orgânica. Destaca-se, ainda, que, por se tratar de material orgânico, as características deste fertilizante poderão variar, dependendo do fornecedor. A elevada concentração de sódio (3.700 cmol/dm^3) indica que o uso de esterco de galinha exige um acompanhamento sistemático de sua aplicação no solo, no longo prazo, para se evitar um possível processo de salinização, apesar da precipitação média de 2.400 mm anuais observada na região, o que poderia minimizar o problema.

A análise química da farinha de osso, feita com duas metodologias, mostrou resultados distintos, dependendo do nutriente quantificado (Tabela 3). Quando se analisou a farinha de osso, utilizando-se a metodologia para análise de tecido vegetal proposta por Malavolta et Al. (1997), determinou-se uma quantidade menor de fósforo e teores muito mais altos de micronutrientes, especialmente ferro e zinco, quando comparados aos obtidos com a metodologia usada para análise de calcário descrita por Silva (1999). Entretanto, o método de Silva foi muito mais efetivo na determinação do fósforo da farinha de osso.

Tabela 2. Análise do esterco de galinhas poedeiras. (Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus, 2002).

| pH água | P mg/dm ³ | K mg/dm ³ | Na cmol/dm ³ | Ca cmol/dm ³ | Mg cmol/dm ³ | Al cmol/dm ³ | H+Al cmol/dm ³ | C g kg ⁻¹ | N g kg ⁻¹ | M.O. % |
|------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| 7,1 | 4766 | 17200 | 3700 | 8,7 | 4,7 | 0,0 | 4,2 | 17,0 | 22,5 | 29,1 |

P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7; M.O. carbono orgânico * 1,724 Walkley-Black.

Tabela 3. Análise química de farinha de osso com uso de dois extratores. (Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus, 2002).

| Metodologia | N g kg ⁻¹ | P g kg ⁻¹ | K g kg ⁻¹ | Ca g kg ⁻¹ | Mg g kg ⁻¹ | Cu mg kg ⁻¹ | Fe mg kg ⁻¹ | Mn mg kg ⁻¹ | Zn mg kg ⁻¹ |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Malavolta et al(1997) | 12,9 | 74,0 | 0,9 | 265 | 9,8 | 10,2 | 2440 | 163 | 83,0 |
| Silva (1999) | - | 176,0 | 1,2 | 199 | 8,4 | 3,0 | 163 | 80 | 0,0 |

P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7; M.O. carbono orgânico * 1,724 Walkley-Black.

A farinha de osso, de acordo com a tabela 3, é uma fonte com elevado teor de fósforo, cerca de 18 % de seu peso seco, além de possuir cálcio, ferro, manganês e zinco. Entretanto, os extratores podem estar mostrando os teores totais e que não necessariamente estarão prontamente disponíveis para a planta no curto prazo, ficando sua liberação condicionada à sua degradação pela atividade biológica.

Nas tabelas 4 e 5, estão os teores médios de fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio, além do pH, a partir da aplicação de esterco de galinha, farinha de osso e carvão vegetal na cultura do guaranazeiro nas amostras de solo coletadas em 2004 e 2007, respectivamente.

Observa-se que em 2004, em relação aos resíduos de carvão vegetal, não houve diferenças estatísticas em nenhum dos parâmetros avaliados. Uma possível explicação para esse fato é que o intervalo de tempo entre a sua primeira aplicação em 2003 e a amostragem do solo, seis meses depois, foi insuficiente para a detecção da possível influência do carvão nas características químicas do solo.

Tabela 4. Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio e pH, na cultura do guaranazeiro, sob diferentes doses de esterco de galinha, farinha de osso e carvão vegetal, na profundidade de 0 a 10 cm no ano de 2004¹. Embrapa Amazônia Ocidental Manaus, 2004.

| Dose (por planta) | pH | Fósforo mg dm ⁻³ | Potássio mg dm ⁻³ | Sódio mg dm ⁻³ | Cálcio cmol. dm ⁻³ | Magnésio cmol. dm ⁻³ | H + Al cmol. dm ⁻³ |
|---------------------------|-------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Carvão | | | | | | | |
| 0,0L | 4,8ns | 209ns | 34ns | 21,1ns | 2,1ns | 0,4ns | 6,4ns |
| 8,0L | 5,2ns | 253ns | 50ns | 43,4ns | 3,0ns | 0,7ns | 5,5ns |
| 16,0L | 5,0ns | 196ns | 54ns | 37,0ns | 2,2ns | 0,5ns | 5,7ns |
| Farinha de ossos | | | | | | | |
| 0,0 kg | 4,8ns | 160ns | 47ns | 22,7ns | 1,9ns | 0,4ns | 6,3ns |
| 0,2 kg | 5,0ns | 216,ns | 43ns | 26,7ns | 2,2ns | 0,7ns | 5,8ns |
| 0,4 kg | 5,2ns | 282ns | 47ns | 52,2ns | 3,2ns | 0,6ns | 5,5ns |
| Esterco de galinha | | | | | | | |
| 0,0L | 4,3* | 68* | 22* | 8,0* | 0,8* | 0,1* | 7,5* |
| 8,0L | 5,0* | 193* | 44* | 25,3* | 2,2* | 0,4* | 5,6* |
| 16,0L | 5,7* | 387* | 72* | 67,7* | 4,3* | 1,1* | 4,4* |

¹P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7.

* teste de F a 5% de probabilidade na mesma coluna, dentro de cada fonte.

Quatro anos após o início do experimento, nas amostras de solo retiradas nos diferentes tratamentos em 2007, os teores de potássio, sódio e magnésio apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 5), com um aumento de suas respectivas concentrações, com o incremento das doses de carvão. Como a princípio, o carvão não possuiria outros nutrientes e sódio em sua constituição original, senão carbono, oxigênio e hidrogênio, pode-se supor que o carvão poderia estar funcionando com um material com capacidade de troca de cátions, diminuindo a lixiviação e retendo potássio, sódio e magnésio ou que poderia estar havendo uma “contaminação” por cinzas no seu processo de produção ou ainda uma combinação de ambas as hipóteses.

Tabela 5. Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio e pH, na cultura do guaranazeiro, submetida a diferentes doses de esterco de galinha, farinha de osso e carvão vegetal, na profundidade de 0 a 10cm no ano de 2007¹. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2007.

| Dose (por planta) | pH | Fósforo mg dm ⁻³ | Potássio mg dm ⁻³ | Sódio mg dm ⁻³ | Cálcio cmol _d dm ⁻³ | Magnésio cmol _d dm ⁻³ | H + Al cmol _d dm ⁻³ |
|---------------------------|-------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|--|--|
| Carvão | | | | | | | |
| 0,0L | 6,0ns | 486ns | 120* | 44,9* | 3,6ns | 0,9* | 3,7ns |
| 8,0L | 6,1ns | 444ns | 160* | 52,3* | 4,0ns | 1,1* | 3,3ns |
| 16,0L | 6,1ns | 486ns | 162* | 59,9* | 4,4ns | 1,2* | 3,0ns |
| Farinha de ossos | | | | | | | |
| 0,0 kg | 6,0ns | 495ns | 149ns | 47,7ns | 3,5ns | 1,1 | 2,8ns |
| 0,2 kg | 6,1ns | 463ns | 148ns | 51,5ns | 4,1ns | 1,0 | 3,3ns |
| 0,4 kg | 6,1 | 458ns | 144ns | 57,9ns | 4,4ns | 1,1 | 3,4ns |
| Esterco de galinha | | | | | | | |
| 0,0L | 5,1* | 119* | 39* | 14,0* | 1,3* | 0,3* | 5,9* |
| 8,0L | 6,5* | 586* | 170* | 54,5* | 5,2* | 1,3* | 2,2* |
| 16,0L | 6,8* | 731* | 240* | 90,4* | 5,7* | 1,8* | 1,7* |

¹P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7.

* teste de F a 5% de probabilidade na mesma coluna, dentro de cada fonte.

Um outro ponto a que se deve atentar é se, no caso das diferenças estatísticas observadas com o uso de carvão vegetal no solo, trata-se apenas de cátions monovalentes; sendo interessante determinar se isto é regra para os solos tropicais ao longo do tempo ou se é o início de um processo mais complexo de reações no solo.

É importante salientar ainda que a aplicação do carvão, assim como a do esterco de galinha, foi cumulativa. Portanto, em 2007, cada planta já havia sido submetida a quatro adubações (2003, 2004, 2005 e 2006), com o volume de carvão acumulado aplicado de 0, 32 e 64 litros por em cada planta por tratamento, assim como o esterco de galinha. Por isso, é fundamental avaliar se está ocorrendo decomposição do carvão vegetal adicionado ao solo e, se estiver, qual sua velocidade e possível influência nas características químicas do solo ao longo do tempo, verificando-se, inclusive, a possibilidade de estar havendo ou não mitigação do carbono da atmosfera, diminuindo o impacto da atividade agrícola.

Outro indício da capacidade do carvão vegetal em diminuir a lixiviação de cátions é o fato de ter sido verificada uma interação entre carvão e esterco de galinha nas análises realizadas em 2004 (Tabela 6). Doses crescentes de carvão levaram a um aumento dos teores de magnésio no solo. Em 2007, essa interação para o magnésio não se repetiu, possivelmente devido ao substancial aumento da concentração deste nutriente em relação a 2004 (Tabelas 4 e 5), atingindo um teto entre os tratamentos, em função do delineamento utilizado, com confundimento entre os tratamentos. No entanto, nesse mesmo ano, verificaram-se interações significativas entre o esterco de galinha e os resíduos de carvão para o potássio, sódio e H + Al. Doses crescentes de carvão aumentaram os teores de potássio e sódio no solo e diminuíram a concentração de H + Al, quando aplicado com o esterco de galinha (Tabela 7).

Tabela 6. Análise de variância da interação carvão x esterco de galinha, para o magnésio, na profundidade de 0 a 10cm, ano 2004. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2004.

| Interação | Soma de quadrados | GL | Quadrado médio | F | P |
|------------------|-------------------|----|----------------|-------|-------|
| Magnésio | | | | | |
| Esterco x carvão | 1,055 | 4 | 0,264 | 4,830 | 0,044 |

Tabela 7. Análise de variância das interações carvão x esterco de galinha, na profundidade de 0 a 10cm, ano 2007. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2007.

| Interação | Soma de quadrados | GL | Quadrado médio | F | P |
|------------------|-------------------|----|----------------|-------|------|
| Potássio | | | | | |
| Esterco x carvão | 12531,812 | 4 | 3132,953 | 3,685 | 0,05 |
| Sódio | | | | | |
| Esterco x carvão | 1942,230 | 4 | 485,558 | 3,675 | 0,05 |
| H + Al | | | | | |
| Esterco x carvão | 5,859 | 4 | 1,465 | 3,949 | 0,04 |

Esses dados vêm ao encontro daqueles verificados por Topoliantz et al (2002), em que houve um aumento do pH e estreitamento da relação C/N com a aplicação de carvão vegetal, favorecendo a disponibilidade de nitrogênio no solo e também dos observados por Topoliantz et al. (2005), em que a aplicação de carvão diminuiu a acidez e a concentração de alumínio trocável do solo, mas aumentou os teores de cálcio e magnésio disponíveis.

Estatisticamente, a farinha de osso não alterou a concentração de nutrientes, sódio, acidez ou pH do solo em nenhum dos anos avaliados (Tabelas 4 e 5), apesar dos elevados teores de fósforo e cálcio presentes neste fertilizante (Tabela 3). É provável que a farinha de osso seja uma fonte de baixa solubilidade, que exija mais tempo para a liberação de nutrientes e para a ocorrência de possíveis reações significativas no solo. Outro ponto a ser levantado é que no delineamento estatístico utilizado, há um confundimento entre os tratamentos, e como o esterco de galinha possui elevados teores de fósforo e cálcio, pode ter ocorrido uma sobreposição de resultados, não sendo possível determinar a influência da aplicação da farinha de osso no solo.

O esterco de galinha aumentou, de maneira estatisticamente significativa, a concentração de fósforo, potássio, sódio e magnésio no solo, além de ter elevado o pH e diminuído o alumínio trocável, tanto nas análises feitas em 2004 quanto nas de 2007 (Tabelas 4 e 5). O pH original do solo elevou-se de 3,1 (Tabela 1) para 5,7 em 2004 e 6,8 em 2007 nos tratamentos com a aplicação de 16 litros de esterco de galinha por planta, enquanto a concentração de H + Al trocáveis decresceu de 8,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para 4,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ em 2004 e 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no ano de 2007. A concentração de fósforo subiu de 3 mg dm^{-3} antes da instalação do experimento para 381 mg dm^{-3} em 2004 e 731 mg dm^{-3} em 2007.

Todavia, observou-se um aumento na concentração de sódio, que passou de 8,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo sem a aplicação de esterco de galinha em 2004 para 67,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de solo, no tratamento com a aplicação de 16 litros de esterco de galinha em 2007, indicando que altas doses de esterco de galinha podem levar a uma excessiva concentração de sódio no solo, mesmo nas condições de elevada pluviosidade da Amazônia Central.

Não houve diferenças estatísticas em relação à dispersão de argilas com a aplicação de esterco de galinha, farinha de osso ou resíduos de carvão (Tabela 8) no ano de 2004, apesar da elevação do pH e diminuição do alumínio e hidrogênio trocáveis no solo.

Tabela 8. Análise de variância para diferentes doses de esterco de galinha, farinha de osso e carvão na dispersão de argilas para a profundidade de 0 a 10cm em 2004. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2004.

| Fonte | Soma de quadrados | GL | Quadrado médio | F | P |
|-----------------|-------------------|----|----------------|-------|-------|
| Carvão | 46,628 | 2 | 23,314 | 0,360 | 0,712 |
| Esterco | 192,315 | 2 | 96,157 | 1,484 | 0,299 |
| Farinha de osso | 1,592 | 2 | 0,796 | 0,012 | 0,988 |

A elevação do pH do solo, em especial os tropicais, majoritariamente eletronegativos pela a adição de fertilizantes ou corretivos, causa a neutralização do Al^{3+} e H^+ da solução do solo, levando a uma predominância de cargas negativas e conseqüentemente repulsão entre as partículas de argila (Morelli e Ferreira, 1987), favorecendo sua dispersão e perda da estrutura do solo (Silva et al. 2005).

Entretanto, solos com altos teores de matéria orgânica, cálcio e magnésio, aliados a uma elevada atividade microbiana, favorecem a floculação de argilas e o equilíbrio de cargas do solo (Silva et al., 2006; Costa et al., 2004; Albuquerque et al. 2003; Benites e Mendonça, 1998), minimizando os possíveis efeitos deletérios da neutralização de ânions Al^{3+} e H^+ , o que explicaria a inexistência de diferenças estatísticas entre os tratamentos no que se refere à dispersão das argilas.

Em resumo, a aplicação de resíduos de carvão vegetal, associados a fontes de nutrientes orgânicos, como os esterco, apesar de possuir potencial para tornar sustentável a agricultura nos solos tropicais, exige estudos mais detalhados para avaliar suas conseqüências nas propriedades químicas e físicas do solo além da própria planta. Estudos de longo prazo para quantificar os efeitos deste tipo de agricultura, priorizando a estrutura do solo, questões relacionadas à salinização do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade das culturas envolvidas são uma prerrogativa fundamental para o uso dos solos amazônicos, com benefícios para o ambiente e o produtor rural.

Uso de Resíduos Vegetais no Solo: Subsídios para a Formação de Terra Preta Nova em Tailândia (PA)

Kátia Fernanda Garcez Monteiro
Dirse Clara Kern
Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo
Tarcísio Ewertom Rodrigues
Paulo Roberto S. Farias
Marcondes Lima da Costa
Francisco Juvenal Lima Frazão
João Barbosa da Rocha
Isolda Maciel da Silveira
Helena Doris de A. Barbosa Quaresma
José Luiz Said Cometti

“Este trabalho é uma orgulhosa homenagem ao mentor-mor da Terra Preta Nova e grande estudioso da Terra Preta Arqueológica, Wim Sombroek (in memoriam)”

A adição de resíduos vegetais em um solo natural pode proporcionar elevação do conteúdo de matéria orgânica em solos de regiões tropicais, em que o aporte do material orgânico é significativamente maior do que em regiões de clima temperado (Raij, 1991). Certamente, além dos aspectos químicos e mineralógicos, devem ser considerados também os aspectos econômicos, sociais e ambientais envolvidos neste processo, visto que eles são de vital importância para a harmonia e sustentação do sistema agrícola como um todo.

Dessa forma, o incremento de material orgânico no solo deixa de constituir-se em um aspecto meramente pontual e adquire conotações sistêmicas, proporcionando a melhoria dos atributos edáficos pela racionalização das estratégias de manejo do sistema solo-planta ao longo do tempo (Muzilli, 1996).

Pesquisas relacionadas ao comportamento da matéria orgânica em solos tropicais têm demonstrado que há ocorrência de solos formados a partir da ocupação humana pré-histórica. Esses solos são altamente férteis e estáveis, denominados de Terra Preta (TP), Terra Preta Arqueológica (TPA) ou Terra Preta de Índio (Kern 1988; Kern & Kämpf 1989; Kern 1996; Costa & Kern 1999). Aparentemente, as TPs formam micro-ecossistemas próprios onde os solos não exaurem facilmente suas propriedades químicas, mesmo nas condições tropicais em que estão expostos ao longo do tempo. Várias hipóteses foram aventadas sobre os processos de formação das TPs, como: “solos vegetais”; “plagem epipedon” ou ainda “solos antrópicos” (Kern, 1996).

Atualmente, a teoria mais aceita sugere que as TPs não foram formadas intencionalmente pelo homem pré-histórico (Kern, 1996; Costa & Kern, Lehmann et al, 2004), apesar dos locais denominados sítios arqueológicos terem sido locais de moradia no passado pré-histórico. Esses locais serviram de verdadeiros depósitos de compostagem de material de origem vegetal (folhas e talas de palmeiras diversas, cascas de mandioca, sementes etc.) e de origem animal (ossos, sangue, gordura, fezes, carapaças de quelônios, conchas, além de outros materiais). Esse resíduo orgânico complexo resultou na formação de solos altamente férteis com elevados teores de P (mais de 1000 mg.kg⁻¹ de solo), Ca, Mg, Zn, Mn e C (Kern 1996). Vale ressaltar que a matéria orgânica nas TPs é na ordem de seis vezes mais estável que nos solos de floresta (Pabst 1992), devendo estar associado à estabilidade da fertilidade das TPs (Glasser, 2004). Para a formação das TPs, deve ter sido primordial a abundância e

diversidade de matéria orgânica descartada e a influência da microbiota do solo. Os microorganismos presentes nas TPs geralmente apresentam maior população e diversidade, principalmente no que se refere aos actinomicetos, quando comparados aos solos naturais ou aos alterados por outras formas de atividades antrópicas (mineração, desmatamento e queimada) (Ruivo et al., 2003).

Baseado na perspectiva do aproveitamento de resíduos orgânicos na formação de substrato adequado à produção vegetal, seja através de reflorestamento de espécies florestais ou agricultura familiar, está o do Município de Tailândia no estado do Pará, considerado um dos maiores pólos madeireiros do Estado. Esse município já perdeu mais de 35% da sua cobertura vegetal original. Segundo dados da imprensa local, grande parte da matéria-prima das serrarias é desperdiçada, cerca de 50% da madeira cortada não é aproveitada pelas empresas, que acabam adotando o processo de incineração ou acumulando resíduos em locais inadequados, causando assoreamento da rede fluvial e diminuição de áreas que poderiam ser utilizadas para a agricultura.

A concentração de serrarias no Município de Tailândia tem chamado a atenção tanto da população quanto de órgãos públicos: como secretarias de agricultura e meio ambiente, pela grande produção de resíduos vegetais (Ton/Ano) que estas atividades acumulam e também no sentido de eliminar ou reaproveitar este material como insumo. Os proprietários têm adotado, como uma das alternativas, a queima a céu aberto, causando problemas na saúde das comunidades sob a área de influência deste tipo de atividade. O processo de incineração dos rejeitos de serrarias também lança grande quantidade de CO₂ na atmosfera, contribuindo para o aumento do fenômeno de ilhas de calor e o efeito estufa, afetando diretamente a população e o ambiente urbano, com o desconforto ambiental.

Nesse contexto, o projeto “Aproveitamento econômico dos resíduos de madeira como alternativa de minimizar os problemas sócio-ambientais no estado do Pará” está realizando, no Município de Tailândia, um experimento em que são utilizados resíduos madeireiros, provenientes da empresa Tailâminas Plac Ltda e de restos de açougues (sangue, ossos, gordura,...), com o objetivo de dar uma utilização mais eficaz a esses resíduos, considerados problemáticos e que são descartados no ambiente e, ao mesmo tempo, produzir um solo mais fértil, semelhante ao Terra Preta, denominado Terra Preta Nova (TPN).

Para produzir *Terra Preta Nova*, aos resíduos de serraria, que são descartados em grande quantidade, são associados os resíduos de açougue (que na maioria das vezes também apresentam problemas de acondicionamento) que podem ser perfeitamente aproveitados. Porém, sabe-se que esse é um processo lento, pois visa a desenvolver a Terra Preta de maneira similar aos solos formados na pré-história. Esta prática, ecologicamente correta, em função do destino dado ao material de serraria, que anteriormente era queimado, poluindo a atmosfera local. Além disso, na medida em que esses resíduos são utilizados como fertilizantes para culturas, servem como matéria orgânica e fonte de nutrientes para o solo. Esta pesquisa está levando em consideração o manejo adequado do solo e de seus recursos naturais, estando apoiada em três bases fundamentais: a conservação de ecossistemas urbanos e rurais, desenvolvimento de sistema sustentável dos recursos da terra e a difusão de sistemas de manejos sustentáveis em termos ecológicos, sociais e econômicos.

Os estudos sistemáticos desenvolvidos no projeto são referentes às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo no experimento referente à Terra Preta Nova, e agregando conhecimentos técnico-científicos com experimentos inicialmente instalados pela empresa Tailâminas Plac Ltda, em reflorestamentos, utilizando as espécies florestais culturas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) e pupunha (*Bactris gasipaes* HBK) em solos onde foram adotadas práticas de manejo com cobertura do solo com resíduos de lâmina de madeira, e comparando com outras áreas sem cobertura, para servirem de parâmetro metodológico para a pesquisa. Embora os resíduos de origem animal não estejam sendo utilizados nesses locais, a matéria orgânica proveniente da decomposição de resíduos vegetais pode trazer importantes contribuições para a compreensão referente aos processos de formação da Terra Preta e Terra Preta Nova-TPN, bem como, o que se pode esperar como resultados na composição química, física e mineralógica do experimento de Terra Preta Nova.

O presente trabalho tem como objetivos: **1)** fazer uma breve apresentação do Projeto Terra Preta Nova, **2)** apresentar resultados preliminares acerca das variações ocorridas nas características físicas, químicas e mineralógicas dos solos na área experimental reflorestada com a espécie florestal paricá (*Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, com e sem aplicação dos resíduos de lâmina de madeira ao solo, servindo como subsídio para o projeto TPN).

Caracterização da Área

O Município de Tailândia está situado a 200 km de Belém, às margens da PA 150, no nordeste do Estado do Pará. Sua área é de 4.780,37 Km² e uma população de 38.453 habitantes. Limita-se ao Norte com o Município de Acará, a Leste com o Município de Tomé-Açu, ao Sul com o Município de São Domingos do Capim e a Oeste com o Município de Moju (Fig. 1).

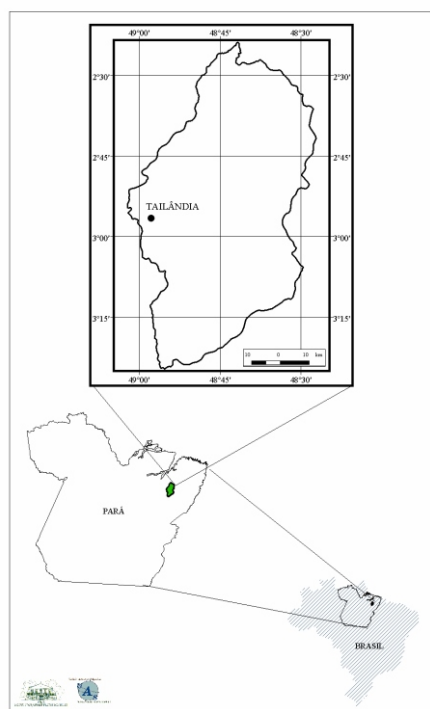


Fig. 1. Mapa de localização do Município de Tailândia (Fonte: IBGE, 2000).

Os solos que predominam no município, em terra firme, são o Latossolo Amarelo de textura argilosa e o Argissolo Amarelo de textura média a argilosa. Já nas áreas de várzea, é comum a presença de Gleissolos e Neossolos Flúvicos, eutróficos e distróficos, com textura indiscriminada (Rodrigues, 2001).

A vegetação predominante é a Floresta Equatorial Latifoliada de terra firme, apresentando como subtipo a Floresta Densa dos baixos platôs. Nos terrenos mais baixos, sujeitos a inundação, há ocorrência de matas de várzea, principalmente, nas margens do Rio Acará. A pressão dos agricultores e pecuaristas sobre as florestas primitivas, através da remoção da cobertura vegetal, para a implantação de lavouras e pastagens bem como seu abandono temporário, vem ocasionando um acelerado surgimento de florestas secundárias, denominadas de capoeira. Porém, ainda, possui áreas com coberturas florestais primárias que merecem preservação.

O município apresenta uma topografia de terrenos relativamente planos e baixos, e, portanto em torno de 35 m, com máxima de 96 m ao Sul. A drenagem é formada principalmente pelo Rio Acará, tendo como afluentes da margem direita, o Rio Urucuri e os Igarapés Anajateua, Ipiranga, Ipiranguinha e Papurá. Na margem esquerda, o seu principal afluente é o Rio Aju-Açu e o Igarapé Turiaçu.

O município encontra-se na faixa equatorial, submetido a um clima tropical úmido, do tipo Af, segundo a classificação de Köppen. O período chuvoso é geralmente longo com uma precipitação média sempre acima de 2.837mm anuais, em relação às aferições mensais de 60 mm, e amplitude térmica anual em torno de 5°C, com temperatura média anual de 26 °C.

O Experimento de Reflorestamento do Paricá (*Schizolobium amazonicum*)

No ano de 1999 o empresário Gilberto Sufredini implantou uma área com reflorestamento utilizando a espécie *Schizolobium amazonicum* (Paricá). Nessa área o solo foi coberto com uma camada de aproximadamente 10 cm de resíduos de lâmina de madeira. Em outra área próxima, apresentando as mesmas características ambientais, não foi adicionada cobertura. O plantio foi realizado no mesmo ano, contando com as mesmas condições técnicas, onde as árvores foram plantadas em espaçamento de 4 x 4 m. Em 2003. Após cerca de 4 anos do plantio, efetuou-se abertura de perfis de solos nas áreas de paricá com e sem cobertura com resíduos de lâminas (Fig. 2). Foram feitas coletas de amostras de solos e descritos perfis segundo os métodos propostos por Lemos & Santos (1996), e a cor do solo foi determinada através da carta de Munsell (Munsell Color Company, 1975). Para comparar os resultados entre qualidade dos solos e crescimento das árvores, tomou-se uma área de 11 ha com cobertura de lâminas de madeira e uma de igual tamanho, porém sem cobertura de resíduo, onde foram tomadas medidas do diâmetro a altura do peito (DAP) em todas as árvores nessas áreas.



Fig. 2: Área de Paricá com e sem utilização de resíduos de madeira.

Resultados e Discussões

Características físicas

Os solos onde houve aplicação de resíduos de lâmina apresentam horizonte A mais espesso, mais escuro e mais arenoso que o horizonte A onde o paricá foi plantado em solo sem a aplicação de resíduos. Quanto às demais características granulometria e densidade? Não seria melhor citá-las? Presentes nos solos com aplicação de resíduo de lâmina, houve pouca variação entre os horizontes em ambos os perfis. Nos solos com adição de resíduos, apresentaram características de solos profundos, mal estruturados e drenados, com estrutura fraca que se desfaz em pequenos e médios blocos subangulares.

Em ambos os perfis com e sem cobertura de resíduos orgânicos, na composição granulométrica predominam a fração areia (areia grossa + areia fina) nos horizontes superficiais (A e AB). No solo recoberto com resíduos de madeira, a fração areia é o principal componente (440 e 500 g kg⁻¹ de solo) diminuindo esses valores com a profundidade (200 g kg⁻¹ de solo), solos de textura franco argilo arenoso. O solo com resíduo apresentou menor densidade que aqueles sem resíduos, variando de 1,19 g/cm³ e 1,51 g/cm³, respectivamente, para o horizonte A (Tabela 1). A porosidade total foi significativamente maior no solo com resíduo, variando de 49%, no horizonte A do Paricá com resíduo para 39% no horizonte A do Paricá sem ele. Esse comportamento se repete em todos os horizontes dos perfis analisados (Tabela 2).

Tabela 1. Densidade do solo em função dos horizontes (g cm⁻³), no experimento de Paricá com e sem aplicação de resíduos.

| Perfis | AP | AB | BA | B1 | B2 | B3 | B4 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Com resíduo | 1,19 | 1,66 | 1,44 | 1,39 | 1,51 | 1,43 | - |
| Sem resíduo | 1,51 | 1,67 | 1,67 | 1,49 | 1,54 | 1,47 | 1,5 |

Tabela 2. Porosidade total do solo em função dos horizontes (%), no experimento de Paricá com e sem resíduos.

| Perfis | AP | AB | BA | B1 | B2 | B3 | B4 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Com resíduo | 49 | 41 | 39 | 43 | 40 | 42 | - |
| Sem resíduo | 39 | 34 | 32 | 40 | 40 | 41 | 41 |

Os argissolos analisados na fração argila são formados basicamente de caulinita e quartzo. Foi observada a participação do quartzo em média de 40% e a caulinita com 36%, seguindo nesta ordem para todos os perfis analisados.

Em Tailândia no solo recoberto com resíduos de madeira, a fração areia é a principal componente (440 e 500 g.kg⁻¹ de solo) diminuindo esses valores com a profundidade (200 g.kg⁻¹ de solo), conteúdos estes que caracterizam solos de textura franca argila arenosa. O solo com resíduo tem menor densidade que aqueles sem resíduos, variando de 1,19 g/cm³ e 1,51 g/cm³, respectivamente, para o horizonte A. A porosidade total é significativamente maior no solo com resíduo, variando de 49%, no horizonte A da plantação com resíduo para 39% no horizonte A do reflorestamento sem resíduo. A plantação de paricá com resíduo também possui maiores teores de C e soma de bases (Monteiro, 2004). Em campo, pode-se observar que a área que recebeu o resíduo de serraria teve um desenvolvimento extraordinário em relação ao crescimento do Paricá, visível até mesmo a olho nu, em comparação com a área que não recebeu cobertura de resíduos de madeira. No que se refere ao crescimento das plantas na cultura de Paricá, observa-se que, onde foi colocada a cobertura do resíduo de serraria, as árvores apresentam maior diâmetro na altura do peito, após 4 anos de plantio, além de obter um maior percentual (20 %) de árvores que sobreviveram.

Quando se compara distribuição de classe de diâmetros verifica-se que na área onde foi aplicado resíduo de serraria ocorre a predominância de duas classes (15 a 20cm e 20-25cm, com predominância dessa ultima). Por sua vez, no plantio que não ocorreu aplicação de resíduo, há uma maior variação na classe de diâmetro das árvores (10-15 cm, 15-20 cm, 20-25cm) (Fig. 1).

Características químicas

Em relação à composição química total, observa-se que no, Paricá com resíduos, os teores de ferro total Fe_2O_3 (2,67%) foram significativamente inferiores aos teores desse óxido (4,13 %) na cultura de Paricá onde não houve aplicação de resíduo. Os teores de P_2O_5 encontrados apresentaram-se muito baixos (<0,01 % em peso) para os perfis analisados.

As características químicas analisadas revelaram valores para Ca^{2+} maiores nos horizontes superficiais diminuindo com a profundidade em ambos os perfis. No entanto, os teores de Ca foram significativamente mais elevados em solos sob a cultura de paricá com aplicação de resíduos nesse perfil os teores de Ca^{2+} variaram de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo no horizonte Ap e $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o solo no horizonte B (Fig. 3).

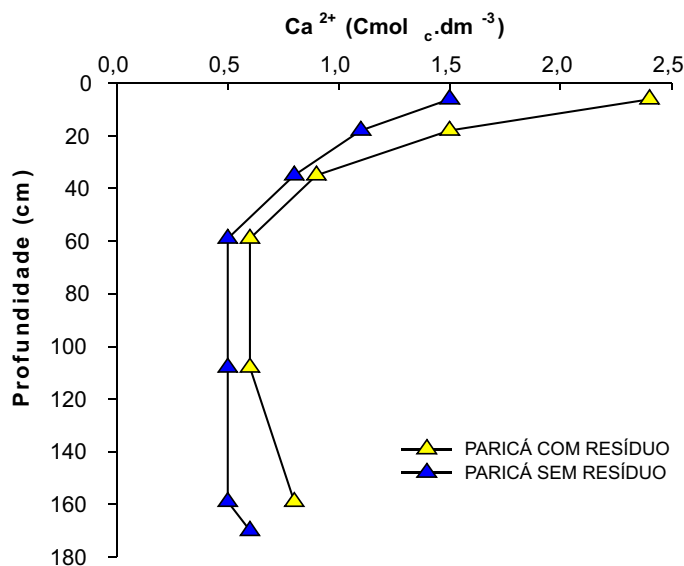


Fig. 3. Distribuição dos teores de Ca^{2+} em função dos horizontes, nos perfis do experimento de Paricá com (PACR) e sem (PASR) aplicação de resíduos de madeira.

De modo geral, os teores de K^+ no solo foram mais elevados na superfície, reduzindo consideravelmente à medida em que aumentou a profundidade do solo. Os teores mais elevados de K^+ alcançaram valores de $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, tanto para o Paricá com resíduo quanto para os de solo sem adição de resíduo. Foram encontrados valores médios de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo, diminuindo em profundidade para $0,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O K^+ nos perfis analisados demonstraram não haver grandes variações entre os solos com ou sem aplicação de resíduo de madeira (Fig. 4).

Os teores de Al^{3+} determinados nos solos não apresentaram diferença significativa entre a aplicação ou não de resíduos de madeira, com $0,4$ a $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,3$ a $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo, respectivamente. Destacando-se que são teores considerados baixos

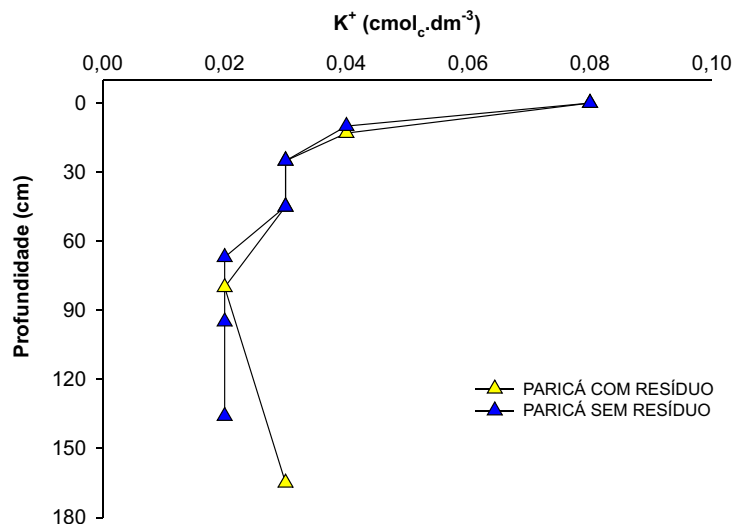


Fig. 4. Distribuição dos valores K^+ em função da profundidade nos perfis de Paricá com e sem aplicação de resíduo.

Verificou-se que os teores de matéria orgânica em profundidade no horizonte A (0-20 cm) foram considerados significativamente superiores para o solo com Paricá em que foram aplicados resíduos, apresentando valores médios de $20,84 \text{ g kg}^{-1}$. Enquanto nos solos que não foram submetidos a adição de resíduos esse mesmo horizonte não apresentou valor médio de $9,03 \text{ g kg}^{-1}$ de solo (Fig. 5).

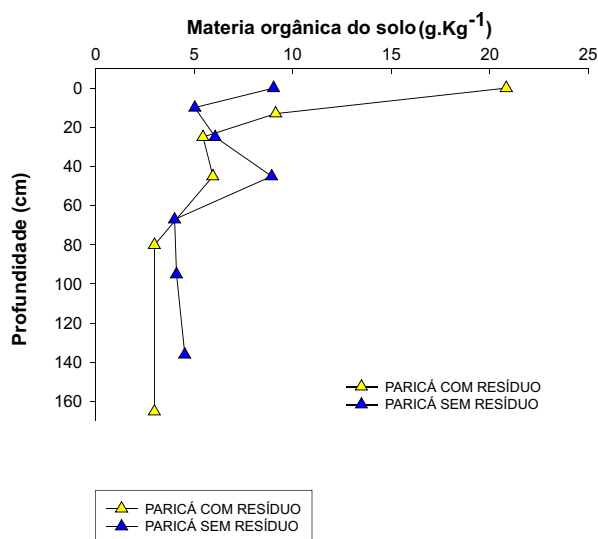


Fig. 5. Distribuição da matéria orgânica em função da profundidade na cultura de Paricá com (PACR) e sem (PASR) adição de resíduos de madeira.

O efeito da aplicação de resíduos de madeira, como cobertura nos solos analisados sobre a capacidade de troca de cátions (CTC), diferiu dos de solos que não receberam cobertura, o que já era esperado quando se observou a concentração de bases nesses solos. Nota-se que a capacidade de troca de cátions apresentou valores superiores a $10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo no horizonte A, ao passo que nos solos sem resíduos, a capacidade de troca de cátions apresentou valores significativamente inferiores, em torno de $5,29 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte A, praticamente não variando em profundidade.

Efeitos agronômicos

No que se refere ao crescimento das plantas na cultura de Paricá, observou-se que onde foi utilizada a aplicação de resíduos de madeira, as árvores apresentaram maior diâmetro na altura do peito, após quatro anos de plantio, além de obter um maior percentual de árvores que sobreviveram (20 %). Em campo, pôde-se observar que a área que recebeu resíduos de madeira teve um desenvolvimento significativo em relação ao crescimento do Paricá, visível até mesmo a olho nu, em comparação à área em que esses resíduos não foram adicionados.

A adição do material orgânico no solo, devido à lenta decomposição das lâminas de madeira, favoreceu o desenvolvimento da espécie, que através da adição e incorporação ao solo de material orgânico novo, além da queda de folhas, resíduos de galhos e do sistema radicular das plantas (matéria orgânica leve) levaram a criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento vegetal, em relação à área que não foi recoberta com lâminas de madeira.

Diversas pesquisas apontam para a importância da matéria orgânica no solo. A matéria orgânica leve é composta principalmente de partes de plantas, embora resíduos de animais e de microrganismos possam estar presentes em vários estágios de decomposição (Kögel-Knabner e Ziegler, 1993), esta fração da matéria orgânica, segundo Ruivo (1998) e Duda et. al (1999), pode ser usada como indicador de sua degradação e recuperação. Entretanto, pouco se sabe sobre seu comportamento quando se trata da decomposição de resíduos da atividade madeireira, necessitando ainda de maiores estudos.

O Experimento Terra Preta Nova

O experimento Terra Preta Nova foi implantado na área abrangência da linha Tucuruí/Albrás, coordenadas 02 57' 021"S e 048 57' 21"WGr., no Município de Tailândia, Pará. A Empresa Tailâminas Plac cedeu essa área de 4ha, por um período previsto de 25 anos. O local foi escolhido por não ser permitido, ao longo das linhas de transmissão, construir edificações e plantar árvores de grande porte. Como o experimento pretende seguir uma forma de manejo de solo com incorporação de resíduos orgânicos de origem vegetal e animal, com monitoramento das variações físicas, químicas, biológicas e mineralógicas por décadas, a exemplo da formação das Terras Pretas Arqueológicas, essa área seria ideal.

No experimento, foram inicialmente implantados 17 tratamentos com quatro repetições cada, totalizando 68 parcelas, medindo 3 m x 3 m cada. Para a distribuição das parcelas utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, sendo combinação de resíduos de carvoeira, de serraria e de açougue (Fig. 6). Inicialmente foi efetuada a coleta de amostras de solo de perfil em 2003, que representará as condições físicas, químicas e mineralógicas do solo no “tempo zero” do experimento. A descrição morfológica do perfil e coleta de amostras seguiu os métodos propostos por Lemos & Santos (1996), sendo coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos em todos os horizontes. Para as análises químicas utilizou-se os métodos segundo (Embrapa, 1997). Nas parcelas, foram efetuadas até o momento duas amostragens: uma no período chuvoso (março-2004) e outra no período seco (setembro-2004). As amostras foram coletadas a cada 5 cm, atingindo a profundidade de 20cm. As das parcelas estão em fase de processamento em laboratório.



Fonte: Kern (2004)

Fig. 6. Experimento Terra Preta Nova.

Caracterização física e química do solo no experimento TPN

O perfil correspondente ao solo do experimento Terra Preta Nova, apresenta aspecto de solo bem drenado e desenvolvido, com uma profundidade superior a 260 cm com a seguinte seqüência de horizontes Ap, BA, Bw₁, Bw₂, Bw₃ E Bw₄. A coloração esteve entre bruno amarelado escuro (10 YR 3/2,5) no horizonte A e bruno amarelado (10YR 6/6 a 7/6) nos horizontes subjacentes B. A textura variou de areia franca no horizonte Ap a franco argilo arenoso nos horizontes B; a consistência do solo quando úmido é muito friável e quando molhado é não pegajoso e não plástico no horizonte Ap e firme, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica nos demais horizontes; a estrutura é firme pequena média granular no horizonte Ap e fraca que se desfaz em pequenos e médios blocos subangulares nos demais horizontes.

A composição granulométrica dos solos mostra predomínio da fração areia (areia grossa + areia fina) no horizonte A (840 g kg⁻¹), nos demais horizontes os valores de areia permanecem praticamente constantes, variando de 600 a 700 g.kg⁻¹. Os valores de silte são baixos e apresentam pouca variação em todo o perfil (variando de 40 a 80 g kg⁻¹), enquanto que a argila aumenta do horizonte A (80 g kg⁻¹) para BW2 (300 g kg⁻¹), diminuindo novamente para Bw₄ (260 g kg⁻¹). A densidade do solo variou entre 1,32 a 1,60 g cm⁻³, atingindo esse valor máximo, no horizonte BA (18 - 32 cm) e foi decrescendo com a profundidade. Nos primeiros horizontes a densidade foi mais elevada, provavelmente pela ação de máquinas pesadas, para o preparo do solo antes da implantação do experimento, promovendo sua compactação. A porosidade total inclui a macro e a microporosidade. Normalmente, a porosidade total do solo será tanto menor quanto mais compactado ele estiver. Os valores encontrados para a porosidade total variaram de 42 a 49%. O menor valor foi encontrado no horizonte BA (18-32), concordando com os valores da densidade do solo.

Quanto às características químicas, cálcio, sódio e potássio apresentaram teores elevados nos primeiros horizontes, até cerca de 130cm de profundidade, onde estes teores diminuem abruptamente. O cálcio apresentou valores de $1,9 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ de solo no horizonte A e $0,8 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ de solo no horizonte Bw₄, enquanto que o Na e K apresentaram, respectivamente, $0,16$ e $0,34 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo nos horizontes A e $0,02$ e $0,03 \text{ mg dm}^{-3}$ de solo no Bw₄. O fósforo apresentou valores muito baixos em todos os horizontes, variando de 3 mg dm^{-3} de solo no horizonte A e 1 mg dm^{-3} de solo, nos demais horizontes. Portanto, o solo apresenta maior capacidade de troca de cátions e saturação de bases nos horizontes superficiais que nos horizontes B. Os teores de Al^{+3} são significativamente inferiores no horizonte A e BA ($0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), aumentando até o horizonte BW2 ($2,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e diminuindo novamente para Bw₄ ($1,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), comportamento no perfil semelhante ao da argila.

Pelas características físicas e químicas apresentadas, o solo do experimento de Terra Preta Nova foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura arenosa/média moderada, floresta equatorial subperenifolia e relevo suave ondulado.

Aspectos Socioeconômicos da Região de Tailândia e Educação Ambiental

Outra atividade relacionada ao Projeto refere-se à socioeconomia. Dentro dessa atividade o estudo teve como objetivo traçar a trajetória histórica de Tailândia, resgatar a forma de ocupação humana da área, bem como evidenciar as atuais condições socioeconômicas da localidade, frente ao processo de expansão graneleira que vem se direcionando para o local, além dos questionamentos existentes decorrentes do uso intensivo dos recursos madeireiros locais, traçando um perfil do setor madeireiro na sede do Município. Para tanto, foram entrevistados aproximadamente 50% das indústrias madeireiras filiadas ao Sindicato das Indústrias Madeireiras de Tailândia (Sindimata) localizadas ao longo da PA 150, bem como outras entidades relacionadas com os demais setores econômicos do Município tais como, o Sindicato dos Trabalhadores das Indústrias Madeireiras, Moveleira, Olaria, Construção Levee Pesada dos Municípios de Tailândia, Tomé Açu e Concórdia do Pará (Sitrimottoc), Sindicato de Trabalhadores Rurais (STR), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), além de moradores mais antigos do Município e alguns setores do poder público local.

A Recente emancipação do Município e a forma como ocorreu sua origem (ex-colônia) são traços que o colocam em situação ímpar frente ao cenário econômico regional, uma vez que atualmente é um dos principais exportadores de madeira do Estado.

Tailândia teve sua origem a partir de uma política de assentamento induzida direcionada ao Município de Acará. A colônia, até então composta por um número reduzido de migrantes, teve uma verdadeira “explosão demográfica” (i.v.informante, 2005) a partir de 1985, tendo como um dos veículos de informação das possibilidades de êxito desta nova localidade os “carreteiros”¹ que transitavam pela área. Assim, paulatinamente famílias de outras regiões deslocaram-se para Tailândia no sentido de obter terra para se fixarem e se estabelecerem economicamente, garantindo assim as condições mínimas de reprodução social.

O aumento populacional e o conseqüente crescimento da colônia deram início a um processo de organização local espontâneo que culminou com o querer coletivo em prol da emancipação. Tal fato ocorreu por iniciativa e pressão da comunidade que devido a distancia da sede (Acará) não era beneficiada pelo poder público com serviços mínimos necessários, tais como acesso a combustível, transporte, assistência médico-hospitalar, segurança, educação entre outros, o que gerava grande insatisfação.

Hoje, o Município encontra-se em 49º lugar em extensão territorial, com uma área de $4.780,37 \text{ m}^2$ e dista de Belém, capital do estado, cerca de 190 km via rodofluvial e 260 km via rodoviária (GOÉS, et

¹Denominação dada aos caminhoneiros que transportam produtos de uma região para outra.

alli, 2004.p.1). Atualmente segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-(IBGE, 2000) tem uma população composta por 38.435 pessoas, sendo 20.117 homens e 18.318 mulheres, distribuídos com uma concentração maior na área urbana do Município (28. 128) e o restante (10. 307) na área rural.

O constante fluxo migratório para a região é uma das peculiaridades locais ainda presente, haja vista que a maior parte dos moradores atuais de Tailândia é de origem nordestina (Maranhão, Bahia, Piauí), além de goianos, e sulistas, aproximadamente 80% dos moradores do município são maranhenses. Tal quadro tende a intensificar-se em função da construção da Alça Viária², o que facilita o acesso ao Município. Desde quando ainda era colônia do Município de Acará, as atividades econômicas predominantes em Tailândia estavam associadas à questão da disponibilidade de recursos naturais existentes na área. Segundo dados de nossos informantes, a agricultura foi a principal atividade presente no Município, voltada para a subsistência dos grupos familiares dispersos, que cultivavam feijão, milho, mandioca em pequenas áreas, sem a perspectiva de mercado. Com a chegada de novos migrantes e com a política de incentivos fiscais, a extração madeireira apresenta-se como outra perspectiva econômica e, com ela, uma série de alterações vem reconfigurando o cenário local.

A disponibilidade de recursos florestais economicamente rentáveis, associada à experiência de migrantes que já haviam trabalhado com extração de madeira no sul do país, potencializaram a dinâmica extrativa no Município. Nesse sentido, surge em 1980 a primeira indústria madeireira do Município, a Indústria Madeireira Tailândia, localizada no km 150 (existente até hoje com outra razão social e tendo outro proprietário). Seu proprietário era de outra região, fato este que ainda predomina no setor madeireiro local, sendo comum uma trajetória que envolve vários deslocamentos até Tailândia conforme evidenciado nas Tabela 3.

Tabela 3. Origem e Procedência dos Proprietários das Empresas Madeireiras.

| Procedência | Nº | % |
|-------------------|-----------|------------|
| Espírito Santo | 03 | 25 |
| Maranhão | 02 | 16,6 |
| Minas Gerais | 02 | 16,6 |
| Pará | 02 | 16,6 |
| Paraná | 02 | 16,6 |
| Santa Catarina | 01 | 8,35 |
| Rio Grande do Sul | 05 | 8,35 |
| Paraguai | 01 | 8,35 |
| Total | 12 | 100 |

Fonte: Trabalho de Campo, Maio de 2005.

A atividade extrativa madeireira em tora (madeira bruta) no Município constitui-se, desde sua emancipação, na principal fonte geradora de emprego e renda. Segundo dados do Sindimata (*apud* GÓES *et al.*, 2004), a produção de madeira em m³ no Município em 2001, correspondeu a 850.000 t; já em 2004 este volume passou a 990.000 t, o que evidencia um aumento da produtividade no Município (Fig. 12 e 13). Vale ressaltar que, muitas vezes, esses números chegam a se aproximar do real, mas nunca com precisão.

A atividade madeireira é um dos setores da economia que mais absorve mão-de-obra local e, no que concerne à fiscalização do cumprimento da legislação vigente nas áreas ambientais, fiscais e trabalhistas, constitui-se num dos pontos mais críticos e frágeis, haja vista que muitas das empresas que atuam na área trabalham informalmente, sem o cumprimento das normas estabelecidas para o

¹Denominação dada aos caminhoneiros que transportam produtos de uma região para outra.

²Pavimentação e construção de quatro pontes que interligam diversos municípios até então de acesso por meio fluvial, com o objetivo de integrar economicamente a região à capital, facilitando o escoamento e comercialização da produção local.

setor. Com relação às atividades desenvolvidas pelas madeireiras, foi possível detectar que a maioria do universo entrevistado trabalha somente com desdobro de madeira, contudo algumas, além dessa atividade, também beneficiam a madeira.

A atividade madeireira é um dos setores da economia que mais absorve mão-de-obra local e, no que concerne à fiscalização do cumprimento da legislação vigente nas áreas ambientais, fiscais e trabalhistas, constitui-se num dos pontos mais críticos e frágeis, haja vista que muitas das empresas que atuam na área trabalham informalmente, sem o cumprimento das normas estabelecidas para o setor. Com relação às atividades desenvolvidas pelas madeireiras, foi possível detectar que a maioria do universo entrevistado trabalha somente com desdobro de madeira, contudo algumas, além dessa atividade, também beneficiam a madeira.

No início da atividade, as madeiras nobres como cedro, mogno e castanha-do-pará logo entraram em fase de extinção em função de terem maior valor comercial. Hoje, das principais espécies exploradas, muitas são oriundas de outros Municípios tais como Moju e Goianésia, entretanto a maioria é do próprio Município.

Em função do volume de madeira trabalhado no Município, é muito grande a quantidade de resíduo oriundo deste processo; e apesar da maioria dos empresários ter conhecimento da legislação ambiental concernente a esses resíduos e dos riscos de inflamabilidade que os envolve, é comum o discurso de que a Sectam não determina uma área para o depósito de tais restos. Em função deste quadro o destino dos produtos tem vários fins conforme Tabela 4.

Tabela 4. Destino de Resíduos (serragem e restos de madeira).

| Tipos e Destinos de Resíduo | Nº |
|-----------------------------------|----|
| Serragem | |
| Deposita ao ar livre | 08 |
| Repasado a terceiros | 02 |
| Cede para produção de adubo | 02 |
| Correção de desnível de solo | 01 |
| Resto de Madeira | |
| Carvão | 02 |
| abrição de ripas, lambril e tacos | 01 |
| Venda | 02 |
| Adubo | 01 |

Fonte: Trabalho de Campo, Maio de 2005.

Ao serem questionados se estes resíduos constituíam-se num problema, quase todos os empresários foram unânimes em afirmar que sim, pois tinham que pagar a terceiros a retirada do pó, ou fazer acertos, tais como: aquele que comprasse os resíduos que poderiam ser utilizados para o carvão, também teria a incumbência de retirar a serragem. Esta até o momento não tem ainda uma utilidade de fato. Há um projeto da prefeitura que versa sobre o tema, bem como um grupo de empresários tentando montar uma fábrica para o reaproveitamento da serragem na forma de “briquete”, que seria destinado à venda.

Em função da quantidade de resíduos e da ampliação da demanda por carvão para abastecer as siderúrgicas de Marabá, a carvoaria vem solidificando-se no Município. Atividade altamente poluente ela constitui-se num dos grandes focos de destruição ambiental e, por conseguinte, é foco de críticas de estudiosos e demais segmentos presentes no Município. A atividade relacionada à produção de carvão vegetal representa aproximadamente 0,75% da produção do Estado, com média de 4.980 toneladas no ano de 2001. Enquanto que a lenha representa apenas 0,6% da produção, sendo pouco significativa no Município, produzindo cerca de 25.000m³. No que se refere à extração de madeira em tora, Tailândia representa aproximadamente 8% (850,000 m³) da produção do Pará, sendo que o Estado é responsável por 85% (10.645,334 m³) da produção de toda Região Norte, (IBGE 2001).

Na expectativa de minimizar o problema, através da educação ambiental estão sendo formados agentes multiplicadores. O público alvo são alunos, professores e funcionários de escolas da rede pública. Os agentes trabalham com conceitos básicos de meio ambiente, resíduos sólidos, desenvolvimento sustentável e cidadania, através de seminários, dinâmicas de grupo, cartazes e visitas no local do experimento.

No ano de 2005 foram implantados em três escolas municipais o Projeto Horta na Escola, com intuito de fazer a interdisciplinaridade, bem como a socialização do conhecimento de agricultura de subsistência entre alunos e professores, com ajuda de pais dos discentes. Ainda neste ano, foram utilizadas, na merenda escolar, as primeiras hortaliças colhidas desse experimento, o que contribuiu bastante para a socialização dos produtos gerados na própria escola. A próxima etapa será a utilização dos resíduos de madeira das serrarias nas hortas escolares como reaproveitamento em forma de adubo natural, para expandir nas escolas piloto e em outras que já demonstram interesse em implantar hortas em seus espaços (Fig. 7).



Foto: João Barbosa, 2005

Fig. 7. Horta com adição de resíduos vegetais na Escola Maria do Socorro Ricardi.

Considerações Finais

A utilização de resíduos de madeira como cobertura no solo demonstrou ser fundamental no processo de estruturação e melhoramento das características físicas e químicas dos solos em questão. Verificou-se que a cobertura de resíduos de madeira influenciou positivamente na densidade do solo, densidade de partículas e porosidade, beneficiando de modo geral a estruturação e aeração do solo, aumentando assim a retenção de umidade, além de reduzir o escoamento superficial dos nutrientes do solo.

Nos solos onde houve cobertura com resíduos no experimento do Paricá, houve um aumento significativo de macronutrientes, principalmente em relação ao cálcio. Observou-se que nos horizontes superficiais foram encontrados os maiores teores dos elementos Ca, Mg, C e menores de Al e Al+H. Esse fato está diretamente ligado ao aumento de material orgânico no solo através da lenta decomposição dos resíduos de lâmina de madeira.

A melhoria das condições físicas e químicas do solo, através da adição e incorporação de material orgânico novo (material orgânica leve), levou à criação de um ambiente favorável ao melhor desenvolvimento vegetal, em relação à área que não foi recoberta com lâminas de madeira. Pode-se observar também que, na Paricá com resíduos, a mortalidade das plântulas foi menor que na Paricá sem ele. Portanto, apesar dos dados ainda preliminares, é pertinente sugerir esta prática de manejo sustentável em reflorestamento, em solos que apresentam elevados índices de acidez e baixa fertilidade.

Observou-se que a extração madeireira em Tailândia vem trazendo consigo uma série de outras atividades, tais como: agricultura, pecuária e a agroindústria. Tal diversificação é adequada às áreas já antropizadas e que não são propícias a exploração madeireira seja ela legal ou ilegal. Como perspectivas para o Município estão as atividades agroindustriais que vêm expandindo-se a cada dia com uma produção bastante significativa e com a possibilidade do cultivo de soja e dendê para a produção do biodiesel, atividades que vêm envolvendo e garantindo emprego e renda para inúmeras famílias da região, através de tecnologias com aproveitamento de resíduos da produção agrícola. O crescimento é inevitável, resta preocupação para que este seja direcionado de forma a garantir as necessidades básicas de qualidade de vida das comunidades rurais destes municípios.

Os resultados referentes à prática de utilização de resíduos orgânicos como cobertura no solo podem indicar uma nova forma de manejo dos solos amazônicos e ao mesmo tempo contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população da região. A expansão da atividade madeireira e o uso racional de sua matéria-prima não é somente uma boa atividade, trata-se de uma oportunidade para criar um cinturão verde sustentável, que proteja a mata nativa e crie inclusão social de fato. Para isso, é necessário expandir as práticas de manejo dos solos amazônicos com vistas também ao desenvolvimento de políticas públicas que contemplem ações de conservação e manejo sustentável dos resíduos gerados pela atividade da indústria madeireira.

Agradecimentos

Ao Fundo Estadual de Ciência e Tecnologia/Secretaria Executiva de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará, aos parceiros fundamentais: Secretaria de Agricultura- Prefeitura Municipal de Tailândia; Empresa Tailâminas Plac sob a direção de Gilberto Sufredini. Ao Programa de Formação e Fortalecimento Institucional da Agência de Desenvolvimento da Amazônia-ADA, pelo apoio financeiro.

Conversão Termoquímica de Biomassa em Biorefinarias

Garcia Perez
Keshav C. Das
Thomas T. Adams

Conversão Termoquímica de Biomassa

A biomassa é geralmente composta por celulose, hemicelulose, “*extractives*” e material mineral (Campbell 1983; Haygreen & Bowyer 1996). Com o aquecimento na ausência ou presença parcial de oxigênio (respectivamente pirólise e gaseificação), ligações químicas são quebradas, levando à formação de compostos orgânicos intermediários não muito voláteis. Esses compostos intermediários sofrem então decomposição termal secundária para formar produtos voláteis, ou passam por reações de polimerização, resultando em produtos de alto peso molecular, como o carvão (Broido 1976; Boroson *et al.* 1989). Reações primárias e secundárias de degradação termal também podem gerar gases, como CO, CO₂, CH₄ e H₂ (Boroson *et al.* 1989; Bridgwater *et al.* 2001; Diebold 2002). Um esquema simplificado das reações termoquímicas da biomassa é apresentado na Figura 1.

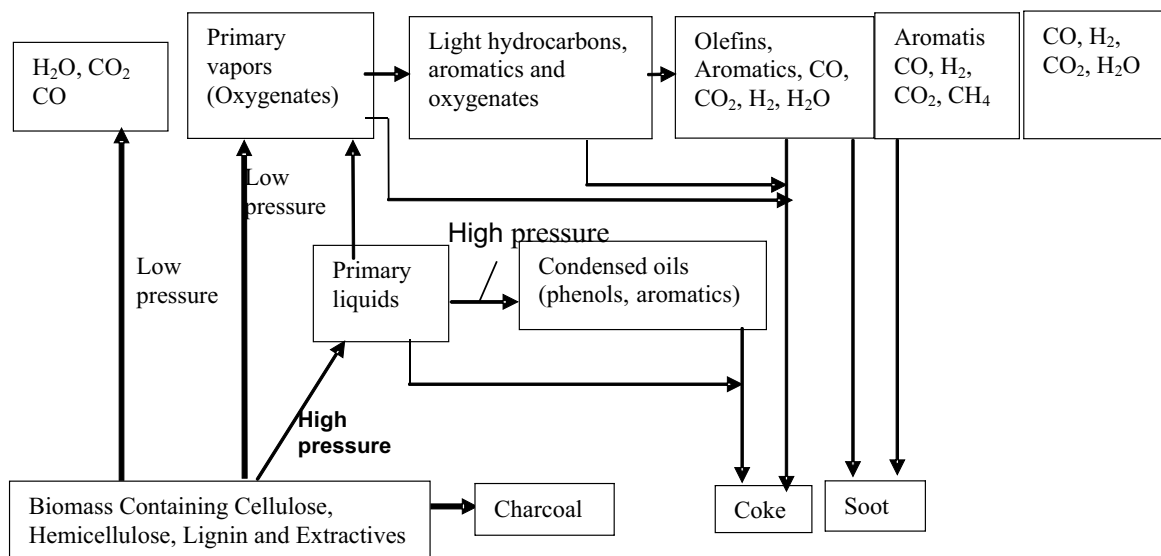


Fig. 1. Caminhos da conversão termoquímica (Evans *et al.*, 1987).

Existem dois mecanismos para a formação de carvão: um iniciado e catalisado por cinzas e o outro causado por reações não-catalíticas de pirólise, tais como BioOil (Agblevor *et al.* 1994). Os processos que exploram essas reações para a produção de carvão são denominados de carbonização (Antal & Gronli 2003).

Adicionalmente, podem ser obtidos gases (conhecido comumente como Syngas) e alcatrão (compostos poliaromáticos) aquecendo-se vapores voláteis acima de 800°C (Marsh *et al.* 2004) na presença de pequenas quantidades de um agente oxidante. Esse processo industrial, denominado: - gaseificação, ocorre a temperaturas entre 800 e 1.800°C a temperatura exata depende das características dos reagentes. Uma revisão detalhada da reação de gaseificação pode ser encontrada p.ex., em Higman (2003).

Evolução das Tecnologias de Conversão Termoquímica de Biomassa

O domínio do fogo é comumente citado como uma das maiores realizações da humanidade e marca a primeira conversão termoquímica de biomassa. A evolução histórica pode ser dividida em três períodos tecnológicos bem distintos: (1) Tecnologias antigas; (2) Fim do século XVIII e início do século XX; e (3) de 1970 até o presente. Os tópicos a seguir ilustram como os progressos atingidos nos últimos 5.000 anos serviram de base para o desenvolvimento das biorefinarias modernas.

Tecnologias antigas

Acredita-se que os egípcios, especialistas na fundição de metais, tenham descoberto há 5.000 anos como fundir o ferro utilizando o carvão. Era de seu conhecimento não apenas a produção de carvão, mas também a recuperação de produtos de destilação resultantes da carbonização da madeira, tais como asfaltos fluidos e ácido pirolenhoso (líquidos condensados) utilizados para embalsamar corpos (Klar & Rule, 1925).

Os primeiros métodos empregados na produção de carvão provavelmente envolviam o processo de “*pit kiln*”, no qual a biomassa era lentamente aquecida em um buraco raso coberto com solo. Em tais métodos, largamente difundidos desde a antiguidade, quase a metade da energia da madeira é perdida durante a produção. Parte do líquido condensado (alcatrão) permanece condensado no solo que recobre a cavidade ou é perdida, possivelmente contribuindo para a poluição da atmosfera. Além disso, esses processos são muito trabalhosos, requerendo sete dias para o aquecimento e cinco a sete dias para o resfriamento (Klar & Rule 1925; Schenkel *et al.* 1998).

Final do século XVIII até o início do século XX

No final do século XVIII, os esforços de metalurgistas e químicos para melhorar a produção de carvão levaram ao desenvolvimento de uma indústria de destilação da madeira com avançados reatores de pirólise e sistemas para recuperação e purificação dos produtos. Tecnologias para a obtenção de nafta a partir de madeira, acetato de calcário, acetona, formaldeído, metanol, ácido acético, fenóis, lubrificantes e betume, juntamente com carvão, foram implementados em escala industrial. Sofisticados sistemas de reatores semicontínuos e de lote eram conhecidos pelos nomes de fornos American, Schwartz, Ljungberg, Ottelinska, Reichenbach, Leschhorn, Swedich e de Meyer (Klar & Rule 1925).

Os mais importantes avanços obtidos no período foram:

- Desenvolvimento de reatores de lote e pirólise contínua de larga capacidade (entre 1,5 e 400 m³) com mecanismos para alimentação de biomassa e remoção do alcatrão;
- Recuperação de energia e integração através do uso de gás da pirólise para aquecimento do reator;
- Desenvolvimento de avançados condensadores, raspadores e sistemas para neutralização contínua e destilação para a recuperação de produtos adicionais;
- Estabelecimento de procedimentos para a preparação da madeira;
- Desenvolvimento de novos produtos de pirólise (Klar & Rule 1925).

No entanto, os impressionantes avanços alcançados durante esse período foram ofuscados pela competição com a crescente indústria do carvão e do petróleo. A indústria de destilação a partir da madeira não foi capaz de mudar rapidamente para a utilização de biomassa na forma de material granuloso ou em pó proveniente de rejeito, pois a utilização de material fino em reatores construídos para operar com grandes pedaços de madeira resultava na formação de uma camada isolante de carvão ao redor da superfície aquecida, impedindo a difusão do calor.

Uma parte substancial das necessidades de energia e químicas foi suprida então pelo uso do petróleo na primeira metade do século XX. A indústria do petróleo foi capaz de refinar óleo cru para a geração de múltiplos produtos a partir do que era então considerado rejeito, levando ao desenvolvimento de um setor petroquímico e de energia de abrangência mundial.

1970 até o presente

Interrupções no fornecimento de óleo que ocorreram nos anos 70 e 80 causaram importantes mudanças nas políticas energéticas da maior parte das nações industrializadas. Programas intensivos de pesquisa para a produção de energia a partir de biomassa foram incentivados e isso levou às tecnologias modernas de conversão termoquímica.

Pirólise

Na década de 1970, novas tecnologias e sistemas de reatores foram desenvolvidos, tais como camadas fluidizadas, pirólise abrasiva e a vácuo, que foram mais facilmente comercializadas em razão do melhor entendimento do fenômeno de pirólise aliado a numerosas experiências em escala. Alguns exemplos de companhias líderes na área incluem: Ensyn Technologies (www.ensyn.com), Dynamotive (www.dynamotive.com), BTG (www.btgworld.com), Fortum (www.fortum.com), Bioware (www.bioware.com.br), e Eprida (www.eprida.com). Essas companhias utilizam camada fluidizada, camadas fluidizadas circulantes (CFB), cone rotatório, broca abrasiva e reatores de pirólise a vácuo, todos desenhadas para biomassa granulada ou em pó. Uma revisão detalhada sobre o assunto foi publicada por Meier *et al.* (1999) e Bridgwater *et al.* (1994, 1999, 2001). Alguns dos métodos de aquecimento utilizados nesses reatores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Reatores de pirólise rápida e métodos de aquecimento.

| Tipo de Reator | Método de Aquecimento |
|-----------------------------|--|
| Vórtex Abrasivo | Aquecimento da parede do reator |
| Camada de Fluido Circulante | Gaseificação do carvão na camada para aquecimento da areia |
| Ciclone ou Vórtex | Aquecimento da parede do reator |
| Fluxo Constante | Produtos da combustão do carvão ou areia aquecida |
| Camada Fluida | Gases aquecidos recicláveis, gases inertes aquecidos, gaseificação parcial, ou tubos de fogo |
| Camada Horizontal | Tubos de fogo |
| Hearth Múltiplo a Vácuo | Aquecimento do Hearth |
| Cone Rotatório | Aquecimento das paredes e da areia |
| Camada em Agitação | Gaseificação parcial de carvão |
| Camada em Movimento a Vácuo | Contato direto com superfície aquecida |

Fonte: Bridgwater *et al.* 1999.

Gaseificação

A gaseificação envolve a conversão de matéria carbonácea em produtos gasosos com valor de aquecimento adequado. A técnica mais comum é a oxidação parcial utilizando-se O_2 , ar ou vapor para a produção de um gás (comumente denominado gás de síntese ou syngas) constituído de H_2 e CO em proporções variadas (Higman, 2003). A porcentagem de energia da biomassa original que se torna disponível no syngas varia geralmente entre 75 e 88 %. A gaseificação tem sido intensamente estudada nos últimos 30 anos, tendo sido escritas revisões detalhadas por diversos autores, como Bain (2004), Warnecke (2000) e Natarajan (1998). Um dos maiores desafios com relação ao syngas diz respeito à necessidade de purificação do gás antes de sua conversão em combustíveis e produtos químicos.

Carbonização

Técnicas de carbonização são técnicas de pirólise que maximizam a produção de carvão e foram desenvolvidas pela necessidade de aplicações que utilizam a propriedade do carvão ativado de remover contaminantes de gases e líquidos (Antal & Gronli 2003; Mochidzuki *et al.* 2005). Carvão ativado produzido a partir de carvão vegetal possui elevada área superficial e são excelentes absorventes para a remoção de poluentes do ar e água. As tecnologias comerciais existentes para a carbonização de biomassa são lentas e ineficientes. Recentemente, Antal *et al.* (2003) descreveram um avanço no processo, com a carbonização muito rápida de biomassa devido à utilização de altas taxas de aquecimento. Maiores detalhes quanto ao desenvolvimento de tecnologias de carbonização podem ser encontrados em Antal & Gronli (2003).

O Conceito de Biorefinarias

A biorefinaria integrada é uma estrutura conceitual no qual processos diferentes de conversão de biomassa são colocados lado a lado, de modo que o produto de um processo se torne a matéria-prima do processo seguinte. Na forma idealizada este sistema pode adquirir diferentes tipos de biomassa como fonte e produzir diferentes produtos, onde todos os produtos têm valor. Em razão da relativa baixa densidade energética e baixa densidade da maioria das fontes de biomassa, pode não ser viável o transporte para biorefinarias distantes.

O transporte da biomassa da origem para as biorefinarias pode se tornar viável por meio da densificação da biomassa por meios mecânicos ou térmicos (Fig. 2). Métodos mecânicos - como prensa de pistão, prensa parafuso, prensa de rolo ou *pelleting* - e métodos térmicos - como pirólise e torrefação (Li *et al.*, 2000) - estão sendo utilizados industrialmente com esta finalidade.

As seções seguintes descrevem as rotas e as tecnologias utilizadas para obter novos produtos de óleos crus *BioOil* e *syngas*. A ideia principal é que em adição à fabricação de carvão para combustível e uso como condicionador do solo, técnicas desenvolvidas recentemente permitem obter produtos múltiplos. As rotas descritas são: (a) Produtos de syngas (b) Produtos de óleos crus *BioOils*, (c) Utilização de vapores do processo de pirólise para produzir hidrogênio, e (d) conversão para carvão vegetal.

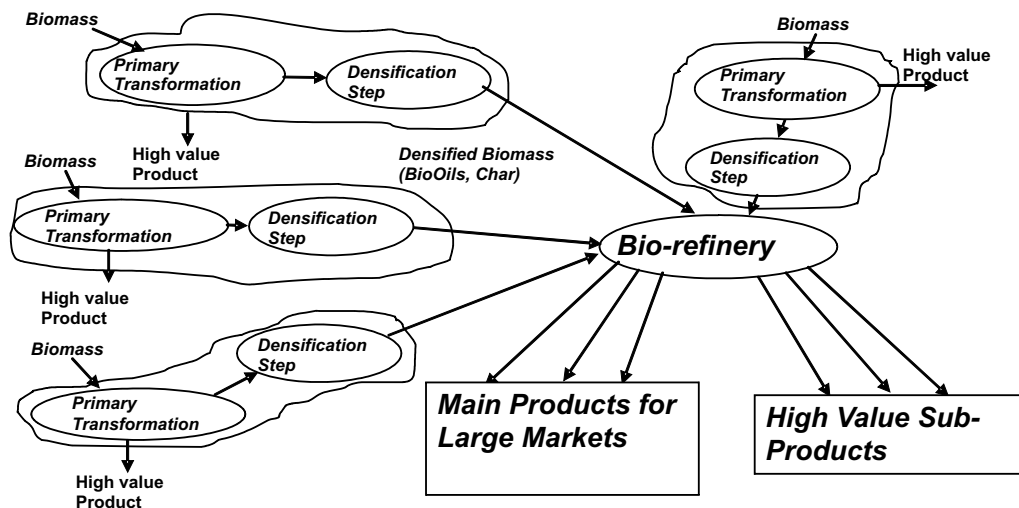


Fig. 2. Esquema de biorefinaria: suas matérias-primas e fluxos de produtos.

Rotas Termoquímicas em Biorefinarias

Conversão Syngas

Os dois principais componentes do syngas, são o H_2 e CO , são as fontes para produzir hidrocarbonetos através de uma variedade de processos catalíticos (Higman, 2003). Processos para converter syngas em produtos incluem conversão de produtos químicos como a amônia, metanol e gases industriais (Fig. 3) e seu uso direto como gás combustível limpo ou em turbinas a gás para produzir eletricidade. Em processos usando syngas para produzir produtos, o sua produção consome entre 50 e 75 % do custo de produção (Spath e Dayton 2003).

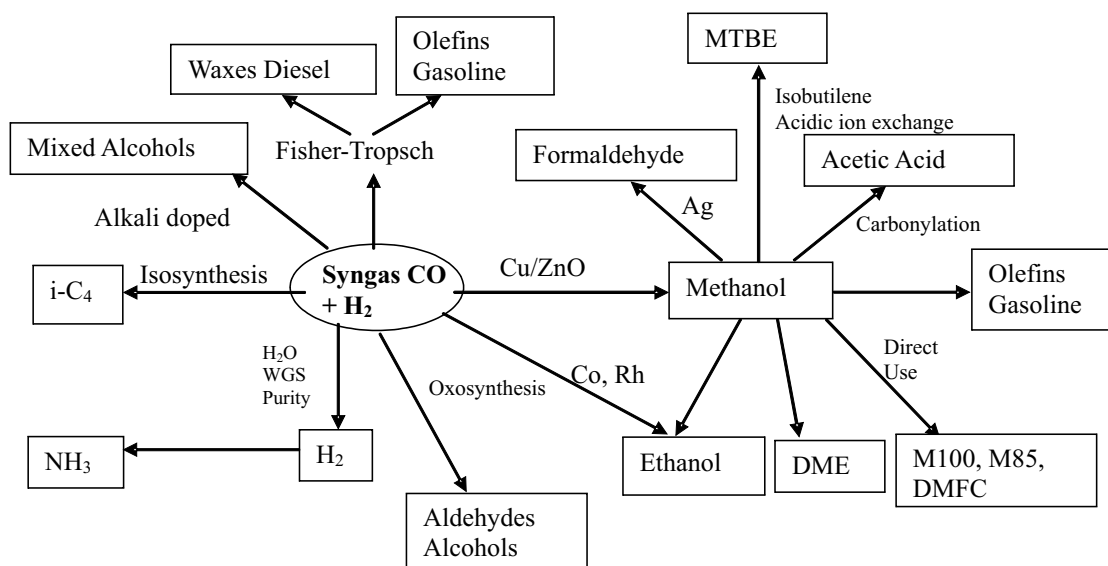


Fig. 3. Potencial para converter syngas em produtos. Rotas individuais são identificadas pelo tipo de catalisados usado na conversão (Spath e Dayton 2003).

Conversão de Bio-Óleo (BioOil Conversion)

Bio-óleo cru (*crude BioOil*), é líquido condensado gerado da pirólise de biomassa, sua coloração é marrom escuro com sua composição elementar sendo similar à biomassa da qual ele foi gerado. É bem conhecido que muitas propriedades críticas do bio-óleo variam em dependência da biomassa utilizada na sua condensação e nos métodos de transformação empregados. Em adição, por causa da reatividade química dos componentes do bio-óleo ocorrem mudanças significativas nas suas propriedades com o tempo, fenômeno conhecido como envelhecimento do bio-óleo. No uso comercial têm sido utilizados processos para padronizar e melhorar a estabilidade do bio-óleo. Uma excelente descrição e revisão dos métodos de caracterização do bio-óleo e a influência da matéria-prima na sua composição é apresentada por Fagernäs (1995).

O melhoramento do bio-óleo e tecnologias de transformação em desenvolvimento incluem filtragem gasosa e quente (Salantausta et al, 2000), desenvolvimento de micro-emulsões (Baglioni et al 2001, Chiriamenti et al., 2003, Ikura et al., 1998), uso de solvente polares (Diebold e Czernik 1997), craqueamento de vapor catalítico (Elliot et al 1987). O objetivo da tecnologia de filtração é remover finas partículas carbonizadas do bio-óleo consequentemente reduzindo sua reatividade. A adição de solvente polares (ex. metanol e etanol) ajuda a reduzir a viscosidade e melhora a estabilidade do bio-óleo. Uma vez estabilizado, o bio-óleo pode ser uma fonte para a produção de uma variedade de produtos dentro de uma biorefinaria, a qual é conceitualmente ilustrada na Figura 4.

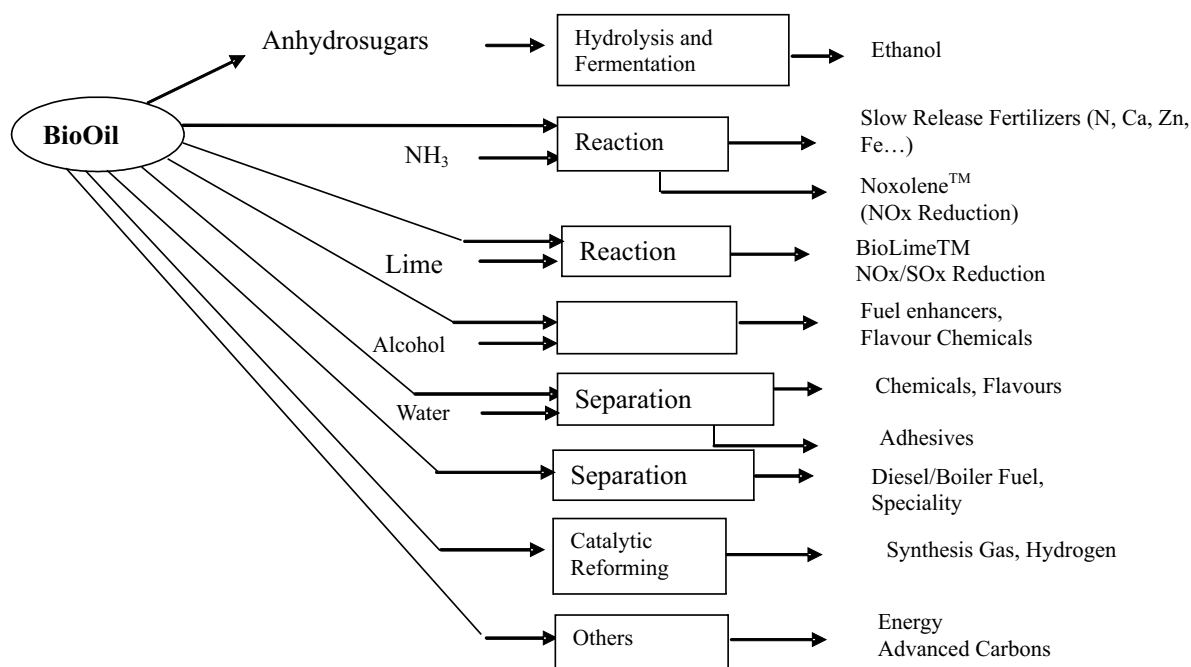


Fig. 4. Conversão de produtos em bio-óleo (Radlein 1999).

Um exemplo de aplicação comercial de bio-óleo pode ser visto em Ensyn Inc., que produz resinas naturais e ingredientes de resinas a partir do bio-óleo. Estas resinas podem ser usadas para a manufatura de produtos madeireiros, particularmente em compensados e laminados. O bio-óleo fabricado por Ensyn tem sido usado comercialmente para aplicações industriais utilizando calor desde o início da década de 1990. Dynamotive Inc., e seus parceiro estratégicos estão atualmente construindo uma biofábrica para bio-óleo localizada em Erie Flooring (EUA) e West Lorne Ontário

(Canadá). Uma planta de 2.5 MW combinando o sistema de energia desenvolvido pela Dynamotive Energy, um sistema rápido de pirólise com tecnologia da Megellan Aerospace Orenda Divisions OGT 2500 turbinas a gás para produção de eletricidade.

Outro produto sendo desenvolvido pela RTI Inc. (Radlein 1999) consiste de reações de bio-óleo com alcoóis para formar compostos secundários, conseqüentemente aumentando a estabilidade e calor específico dos bio-óleos, enquanto reduzem a corrosividade e viscosidade. Reações de bio-óleo com etanol resultam em um significativo aumento na fração destilada de bio-óleo. Aplicações para estes produtos incluem: flavorizantes, químicos, *octane enhancers*, solventes, resinas e vernizes. Compostos de bio-óleo com amônia, uréia, e outros aminoácidos têm provado ser efetivos fertilizantes de liberação lenta. Neste momento, RTI e Dynamotive comercializam estas tecnologias.

Produção de Hidrogênio

Os Estados Unidos e muitos outros países visualizam um dia em que todo o principal sistema de fornecimento de energias para casas e transporte será baseado em hidrogênio. Em adição hidrogênio é também o principal ingrediente na fabricação de fertilizantes agrícolas. Isto faz com a produção de hidrogênio de uma maneira sustentável por meio de fontes renováveis de biomassa seja extremamente atrativa. Hidrogênio pode ser produzido através de um processo de pirólise da biomassa ou gaseificação (Evans et al., 2003) seguidos por *vapor reforming* permite a produção de ambos carvão vegetal e hidrogênio (Evans et al 2003, Markevich et al 1999). Eprida, Inc (<http://www.eprida.com>) uma empresa americana, privada, que atualmente comercializa tecnologia de pirólises para produção de carvão vegetal e hidrogênio (H_2).

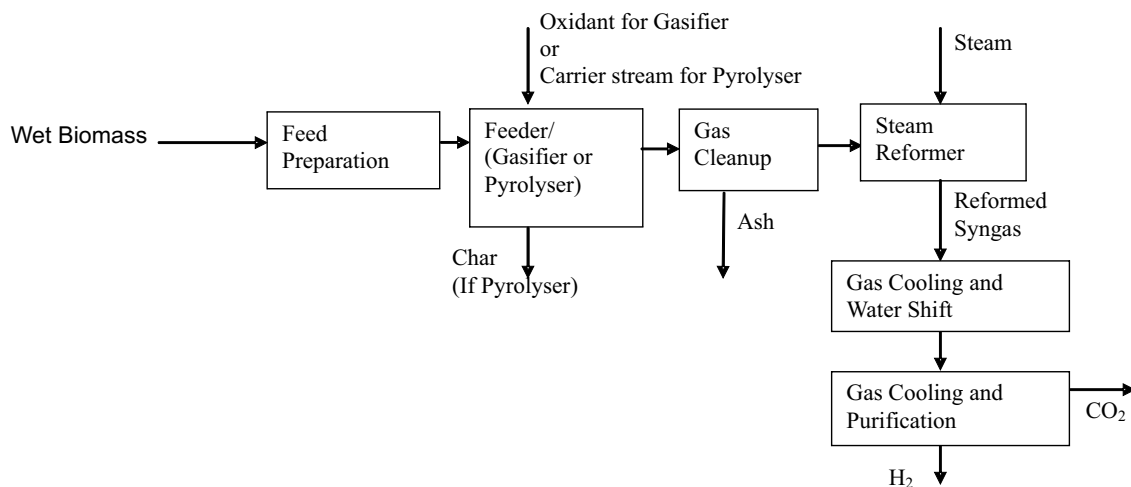


Fig. 5. Produção termoquímica de hidrogênio a partir da biomassa.

Conversão da Biomassa em Carvão

A principal vantagem do uso do carvão vegetal sobre o carvão fóssil ou mineral é que o primeiro, praticamente, não contém enxofre ou mercúrio e apresenta baixa concentração de nitrogênio e cinzas. Estas propriedades fazem do carvão vegetal especialmente atrativo para gaseificação e combustão. Devido a sua inerente porosidade, *bio-carbons* fabricados a partir de carvão vegetal frequentemente apresentam uma elevada superfície específica e são excelentes adsorventes para limpeza de ar e água (Dabrowski et al., 2005).

Carvão vegetal pode ser processado para baixos teores de alcatrão, e limpo syngas através do processo convencional de gaseificação. O syngas após ser limpo pode ser usado em muitas aplicações tais como conversão catalítica para químicos como discutido anteriormente. Carvão vegetal pode também ter muitas aplicações na agricultura, como discutido em vários capítulos deste livro. O carvão vegetal tem sido proposto e utilizado como um condicionador do solo e redutor das emissões de gases de efeito estufa (Antal e Gronli 2003).

Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, responsável por cerca de 28 % da produção mundial (veja Benites, et al., neste volume), sendo também o País de maior consumo de carvão vegetal, principalmente na indústria siderúrgica onde é usado com termoreductor. O Brasil manteve sua indústria baseada em carvão vegetal em parte devido à ocorrência de grandes jazidas de ferro no território brasileiro e pouca jazidas de carvão mineral. Produtos manufaturados com carvão vegetal representam cerca de 30 % da indústria siderúrgica (*pig-iron industry*), 14,6 % da produção das aciarias e 98 % da produção de *ferroalloy*. O custo do carvão vegetal representa de 60 % a 70% dos custos da produção de ferro gusa (Muylert et al., 1999).

Conclusões

A indústria baseada na biomassa está iniciando uma nova revolução que, se manejada apropriadamente, pode levar para nova era de desenvolvimento global sustentável. A conversão termoquímica de biomassa traz uma oportunidade de produzir produtos múltiplos (de alto valor) em concomitância com a produção de carvão vegetal. Isto poderá levar ao uso de carvão vegetal na agricultura para produção sustentável e sequestro de carbono, enquanto possibilita também ganhos extras através de produção de valiosos co-produtos. Este capítulo delinea algumas tecnologias que existem atualmente e algumas que estarão disponíveis num futuro próximo.

Acesso a Recursos Genéticos e a Conhecimento Tradicional Associado

Simone Nunes Ferreira

A noção sobre a importância econômica da biodiversidade bem como a necessidade de sua conservação e uso sustentável são relativamente recentes na comunidade internacional. Até meados da década de 1980, o termo técnico empregado para biodiversidade era “diversidade biológica”. Diversidade biológica significa a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas. “Ecossistema” significa um complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microorganismos e o seu meio inorgânico que interagem como uma unidade funcional.

A forma contraída “BioDiversidade” (BioDiversity com “d” maiúsculo) foi cunhada por Walter G. Rosen, em 1985, nas etapas de planejamento da conferência “National Forum on BioDiversity”, realizada em setembro de 1986, em Washington, D.C., Estados Unidos. Em 1988, foram publicados os anais desse encontro, sob o título Biodiversity, em cujo prefácio E. Wilson escreveu que o termo biodiversidade foi introduzido e utilizado por ser aquele que “melhor que qualquer outro representava a amplitude de tópicos e perspectivas cobertas pelo fórum de Washington”.

O despertar dessas preocupações culminou com a elaboração de um marco legal internacional, com destaque para a Convenção sobre Diversidade Biológica - CDB e o Tratado Internacional sobre os Recursos Fitogenéticos para Alimentação e Agricultura - TIRFAA. Internamente, o Brasil editou importantes normas para regular o tema, dentre elas a Medida Provisória 2186-16/01 e os Decretos 3.945/01 e 5.459/05.

A partir da vigência desses diplomas legais, a pesquisa brasileira que utiliza biodiversidade nativa e/ou conhecimentos tradicionais associados está sendo induzida a profundas modificações. Tanto as pesquisas que envolvem acesso a recursos genéticos, quanto àquelas que remetem material para o exterior com esta finalidade, necessitam de uma autorização governamental, a ser concedida por uma autoridade nacional. Também o acesso ao conhecimento tradicional associado, bem como a sua disponibilização são regulados, envolvendo a necessidade de anuência prévia por parte dos detentores e autorização governamental.

O marco legal brasileiro envolveu a criação de uma autoridade nacional, o Conselho de Gestão do Patrimônio Genético - CGEN, responsável pelas autorizações de acesso a recursos genéticos e ao conhecimento tradicional associado e pela coordenação da implementação de políticas para a gestão destes recursos. O CGEN é um conselho composto por um representante e dois suplentes de 19 instituições da Administração Pública Federal. As definições introduzidas pela CDB e pela MP 2186-16/01 trazem dificuldades em sua interpretação e a matéria tem se mostrado complexa em sua regulamentação. Contudo, apesar das inúmeras dificuldades, os procedimentos administrativos para a tramitação das solicitações de autorização de acesso já foram definidos por intermédio de resoluções do CGEN.

As autorizações de acesso e/ou remessa são prévias e concedidas somente a instituições nacionais que exerçam atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas biológicas e afins, na forma disposta pela MP nº 2.186-16/01 e demais instrumentos legais. As autorizações podem ser simples ou especiais; diferenciam entre si conforme o objeto, se tratam de acesso ao patrimônio genético ou acesso ao conhecimento tradicional associado e, quanto à finalidade, se são para pesquisa científica, bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico.

As autorizações com a finalidade de pesquisa científica podem ser solicitadas junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA, cadastrado pelo CGEN desde 2003. As autorizações que envolvam acesso a conhecimentos tradicionais associados ou tenham finalidade de bioprospecção e/ou desenvolvimento tecnológico devem ser solicitadas diretamente ao CGEN.

Existem condições gerais para a solicitação de autorizações, independentemente de sua finalidade, tais como comprovações institucionais, projeto de pesquisa e depósito de amostra em instituição credenciada como fiel depositária. Conforme a finalidade da autorização solicitada, surgem as exigências específicas.

Os procedimentos são complexos e estão regulamentados por várias disposições infra-legais, em constante adaptação. Não se pretende esgotar o assunto nestas poucas páginas, mas apenas introduzir o controverso tema, de uma forma prática e simples.

Marco Legal Internacional

O reconhecimento da importância econômica da biodiversidade e da necessidade de conservação e de uso sustentável dos recursos, aliados à impossibilidade de respostas nacionais a estas questões motivaram uma crescente demanda por instrumentos internacionais de proteção. Preocupada com estas questões, a Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas convocou a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento CNUMAD, mais conhecida como Rio-92¹.

Extremamente complexa em seu formato e conteúdo, abrigando, além da conferência intergovernamental, um Fórum global da sociedade civil, a Rio-92 foi a maior reunião de líderes governamentais já ocorrida (mais de cem), inaugurando a década das conferências, com uma agenda ampla e atores diversificados (ALVES: 2001). Somente a participação massiva de movimentos sociais e ONGs ambientalistas, bem como voltadas para a defesa dos direitos de minorias pode enquadrar a Rio-92 como uma conferência social da década de 90, haja vista seus temas de natureza predominantemente econômica e técnica.

Convocada em meio a forte campanha internacional preservacionista, a Rio-92 poderia ter representado apenas mais um capítulo do conflito Norte-Sul. No entanto, logrou conscientizar o mundo de que, se por um lado a superpopulação é voraz, a pobreza pode ser poluidora e a miséria tende a ser catastrófica para a natureza, por outro, a maior responsabilidade pela destruição ambiental planetária advém dos padrões insustentáveis de produção e consumo das sociedades desenvolvidas (ALVES: 2001). Esse entendimento se reproduz na idéia de que as responsabilidades pela degradação ambiental são comuns, mas diferenciadas e que os países pobres não devem renunciar aos objetivos do desenvolvimento.

Desta forma, o primeiro princípio da proclamação tem um sentido nitidamente antropocêntrico, reconhecendo que os seres humanos estão no centro das preocupações com o desenvolvimento sustentável e têm direito a uma vida sustentável e produtiva, em harmonia com a natureza. Da Rio-92 emergiram importantes documentos multilaterais: a Convenção sobre o Clima, a Convenção sobre Diversidade Biológica, a Declaração de Princípios sobre Florestas, a Agenda 21 e a Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

¹A Resolução n.º. 44/228 adotada em 22 de dezembro de 1989 trazia os temas a serem tratados no evento: Proteção da atmosfera por meio do combate à mudança do clima, ao desgaste da camada de ozônio e à poluição transfronteiriça do ar; Proteção da qualidade do suprimento de água-doce; Proteção das áreas oceânicas, marítimas e zonas costeiras e conservação, uso racional e desenvolvimento de seus recursos vivos; Proteção e controle dos solos por meio, *inter alia*, do combate ao desmatamento, à desertificação e à seca; Conservação da diversidade biológica; Controle ambientalmente sadio da biotecnologia; Controle dos dejetos, principalmente químicos e tóxicos; Erradicação da pobreza e melhoria das condições de vida e de trabalho no campo e na cidade; e Proteção das condições de saúde.

Convenção sobre Diversidade Biológica

A Convenção sobre Diversidade Biológica CDB tem por objetivos: a conservação da diversidade biológica, o uso sustentável de seus componentes e a repartição equitativa dos benefícios derivados do uso dos recursos genéticos. Aborda aspectos importantes referentes ao tema biodiversidade, tais como: conservação e utilização sustentável, identificação e monitoramento, conservação *ex situ* e *in situ*, pesquisa e treinamento, educação e conscientização pública, minimização de impactos negativos, acesso aos recursos genéticos, acesso ao conhecimento tradicional associado à biodiversidade, acesso à tecnologia e sua transferência, intercâmbio de informações, cooperação técnica e científica, gestão da biotecnologia e repartição de seus benefícios.

A Convenção sobre Diversidade Biológica rompeu o paradigma que considerava os recursos genéticos como patrimônio da humanidade, declarando a soberania dos países sobre os respectivos recursos genéticos e o acesso facilitado aos recursos genéticos, mediante consentimento prévio fundamentado e em termos mutuamente acordados. Estabeleceu, ainda, que os países usuários de recursos genéticos oriundos de terceiros países, assegurariam a repartição justa e equitativa dos benefícios decorrentes de sua utilização econômica.

Seu desafio é conciliar o desenvolvimento com a conservação e a utilização sustentável da diversidade biológica, levando-se em conta que os países detentores da capacidade tecnológica e dos recursos financeiros necessários ao aproveitamento econômico da biodiversidade são economicamente desenvolvidos e que os países ricos em biodiversidade são, geralmente, aqueles em desenvolvimento. A Convenção sobre Diversidade Biológica trata dessas assimetrias e propõe diretrizes para superá-las, reconhecendo o princípio da divisão dos custos decorrentes do uso da biodiversidade e dos benefícios advindos da comercialização dos produtos resultantes do intercâmbio entre países ricos e países pobres.

A Conferência das Partes COP é o órgão de decisão e implementação da Convenção sobre Diversidade Biológica, por intermédio de decisões emanadas de suas reuniões periódicas². A agenda das reuniões é extensa e reflete os programas de trabalho estabelecidos pela própria Conferência das Partes, em especial os sete programas de trabalho temáticos nas áreas de biodiversidade: agrícola, de terras áridas e sub-úmidas, de florestas, de águas continentais, de ilhas, marinha e costeira e de montanhas.

A convivência entre a preocupação com a preservação do meio ambiente e as necessidades agrícolas dos diversos países foram acomodadas pela Segunda Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica que reconheceu *a natureza especial da biodiversidade agrícola, suas características distintivas e seus problemas que requerem soluções diferenciadas*, enfatizando, entre outros aspectos, a extrema interdependência entre os países da diversidade exótica para o melhoramento genéticos dos cultivos. A Convenção sobre Diversidade Biológica sucitou à Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura FAO a revisão de suas políticas, de forma a adequá-las aos objetivos de conservação da diversidade biológica, uso sustentável de seus componentes e repartição equitativa dos benefícios derivados do uso dos recursos genéticos.

Tratado Internacional sobre os Recursos Fitogenéticos para Alimentação e Agricultura

Premida por preocupações semelhantes às que desencadearam a negociação da Convenção sobre Diversidade Biológica, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura FAO promoveu a discussão de um outro instrumento internacional com um foco restrito às necessidades especiais dos recursos fitogenéticos utilizados para a alimentação e a agricultura. As negociações do Tratado Internacional sobre os Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura - TIRFAA

²Até a presente data, foram realizadas 9 reuniões ordinárias e uma extraordinária.

prolongaram-se por sete anos, tendo por base a revisão do Compromisso Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para Alimentação e Agricultura e sua harmonização com o novo paradigma estabelecido pela Convenção sobre Diversidade Biológica.

O objetivo do TIRFAA é a conservação e o uso sustentável dos Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura e a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados de sua utilização, em harmonia com a Convenção sobre Diversidade Biológica, em prol de uma agricultura sustentável e da segurança alimentar. Seu escopo são todos os recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura, os quais são conceituados como qualquer material, inclusive reprodutivo ou para propagação vegetativa, que contenha unidades funcionais da hereditariedade, seja de origem vegetal e mostre valor real ou potencial para a alimentação e a agricultura. Parece relevante destacar que, neste conceito, não se enquadram, em um extremo, materiais de origem vegetal incapazes de reprodução ou propagação vegetativa, nem, em outro extremo, genes clonados ou segmentos de DNA, que podem ser considerados unidades estruturais, mas não funcionais, da hereditariedade.

O TIRFAA dispõe sobre Conservação, Prospecção, Coleta, Caracterização, Avaliação e Documentação de Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura (Artigo 5º); Uso Sustentável dos Recursos Fitogenéticos (Artigo 6º); Compromissos Nacionais e Cooperação Internacional (Artigo 7º); Assistência Técnica (Artigo 8º); Direitos dos Agricultores (Artigo 9º); O Sistema Multilateral de Acesso e Repartição de Benefícios (Artigo 10); Plano de Ação Mundial (Artigo 14); Coleções *ex situ* de Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura mantidas pelos Centros Internacionais de Pesquisa Agrícola do Grupo Consultivo em Pesquisa Agrícola Internacional e por outras Instituições Internacionais (Artigo 15); Redes Internacionais de Recursos Fitogenéticos (Artigo 16); O Sistema Global de Informação sobre Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura (Artigo 17); Recursos Financeiros (Artigo 18); Órgão Gestor (Artigo 19); Cumprimento (Artigo 21) e Solução de Controvérsias (Artigo 22).

Direitos do agricultor

O TIRFAA incita as Partes a reconhecerem a enorme contribuição que as comunidades locais e indígenas e os agricultores de todas as regiões do mundo, particularmente dos centros de origem e de diversidade de cultivos, têm realizado e continuarão a realizar para a conservação e para o desenvolvimento dos recursos fitogenéticos que constituem a base da produção alimentar e agrícola em todo o mundo.

Promovendo um avanço significativo sobre o tema, destaca que as Partes Contratantes têm a responsabilidade de implementar os Direitos do Agricultor em relação aos recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura. Neste sentido, de acordo com suas necessidades e prioridades, cada Parte Contratante deverá, conforme o caso e sujeito à sua legislação nacional, adotar medidas para proteger e promover os Direitos dos Agricultores, inclusive: (i) proteção do conhecimento tradicional relevante aos recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura; (ii) o direito de participar de forma equitativa na repartição dos benefícios derivados da utilização dos recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura; e (iii) o direito de participar na tomada de decisões, em nível nacional, sobre assuntos relacionados à conservação e ao uso sustentável dos recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura.

Sistema Multilateral de Acesso e Repartição de Benefícios

O TIRFAA reconhece os direitos soberanos dos Estados sobre seus próprios recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura e que a autoridade para determinar o acesso a esses recursos pertence aos governos nacionais e está sujeita à legislação nacional. Contudo, estabelece um sistema multilateral, almejando que seja eficiente, eficaz e transparente tanto para facilitar o acesso aos

recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura quanto para repartir, de forma justa e equitativa, os benefícios derivados da utilização desses recursos, em base complementar e de fortalecimento mútuo

Os recursos cobertos por este Sistema Multilateral foram relacionados no Anexo I e foram estabelecidos de acordo com os critérios de segurança alimentar e interdependência. Incluem-se nesse anexo, culturas importantes como milho, arroz, feijão e mandioca, por outro lado, devido a divergências políticas entre os países foram excluídos produtos de grande importância econômica como café, cana-de-açúcar, amendoim e soja.

Inicialmente, o Sistema Multilateral inclui apenas os recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura que estejam sob o gerenciamento e controle das Partes Contratantes e que sejam de domínio público e aqueles conservados em coleções *ex situ* dos Centros Internacionais de Pesquisa Agrícola do Grupo Consultivo sobre Pesquisa Agrícola Internacional CGIAR. Contudo, as pessoas físicas e jurídicas que detêm recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura, relacionados no Anexo I, podem incluí-los no Sistema Multilateral.

O acesso facilitado é concedido de acordo com um modelo de Termo de Transferência de Material padrão - TTMP exclusivamente para a finalidade de utilização e conservação para pesquisa, melhoramento e treinamento relacionado à alimentação e à agricultura, desde que tais finalidades não incluam usos químicos, farmacêuticos, industriais e/ou outros usos não alimentícios. No caso de cultivos de múltiplo uso, alimentícios e não-alimentícios, sua importância para a segurança alimentar deverá ser o fator determinante para sua inclusão no Sistema Multilateral e sua disponibilidade para o acesso facilitado.

O acesso é concedido de forma agilizada, sem a necessidade de controle individual dos acessos e gratuitamente, ou, quando for cobrada uma taxa, esta não pode exceder os custos mínimos correspondentes. Todos os dados de passaporte disponíveis e, sujeito à legislação vigente, qualquer outra informação associada descritiva, não-confidencial disponível, são serão fornecidas junto com os recursos.

O TIRFAA reconhece que o acesso facilitado aos recursos incluídos no Sistema Multilateral constitui por si só um benefício importante. Contudo, determina que os benefícios derivados da utilização, inclusive comercial, devem ser repartidos de forma justa e equitativa por meio dos seguintes mecanismos: troca de informações, acesso e transferência de tecnologia, capacitação e repartição dos benefícios derivados da comercialização, levando em consideração as áreas prioritárias de atividades no Plano Global de Ação progressivo, sob a orientação do Órgão Gestor.

O acesso aos recursos, encontrados em condições *in situ*, será concedido de acordo com a legislação nacional ou, na ausência de tal legislação, de acordo com as normas que venham a ser estabelecidas pelo Órgão Gestor do Sistema Multilateral.

A regulamentação de acesso aos recursos genéticos e aos conhecimentos tradicionais associados pode ser implementada por intermédio de legislação própria ou por legislações correlatas. O Brasil, na qualidade de Parte da Convenção sobre Diversidade Biológica e do TIRFAA, tem empreendido esforços para adequar suas políticas públicas e legislação às atuais exigências. Neste sentido, o arcabouço jurídico brasileiro referente ao tema permanece em constante construção.

Marco Legal Brasileiro

O arcabouço jurídico brasileiro referente a acesso aos recursos genéticos e ao conhecimento tradicional associado é formado por disposições legais e infra-legais, dentre as quais pode-se destacar: Lei nº 4.771/65 (Código Florestal); Lei nº 5.197/67 (Lei de Proteção à Fauna), Lei nº 6.938/85 (Política Nacional de Meio Ambiente); Lei nº 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais), Lei nº 9.985/00 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação de Natureza); Medida Provisória nº 2.181-16/01 (Acesso a Recursos Genéticos e aos Conhecimentos Tradicionais Associados); Decreto Legislativo nº 70/06

(Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura), Decreto nº 2.519/98 (Convenção sobre Diversidade Biológica); Decreto nº 3.945/01 (regulamenta a Medida Provisória de Acesso); Decreto nº 5.459/05 (sanções administrativas da Medida Provisória de Acesso); resoluções, deliberações e orientações técnicas do CGEN.

A Convenção sobre Diversidade Biológica foi aprovada pelo Congresso Nacional por intermédio do Decreto Legislativo nº 2, de 1994 e incorporada à legislação brasileira pelo Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998. O Governo brasileiro depositou o instrumento de ratificação da Convenção em 28 de fevereiro de 1994, passando a mesma a vigorar para o Brasil em 29 de maio de 1994, na forma de seu artigo 36. O TIRFAA foi aprovado pelo Congresso Nacional por intermédio do Decreto Legislativo nº 70, de 18 de abril de 2006. O Governo brasileiro depositou o instrumento de ratificação em 22 de maio de 2006, passando a mesma a vigorar para o Brasil em 21 de agosto de 2006, na forma de seu artigo 28.

O referido arcabouço legal envolve uma série de aspectos técnicos, legais e econômicos, cujo entendimento não é tarefa trivial. A legislação de acesso traz especificidades como a construção do consentimento prévio fundamentado junto a comunidades indígenas, locais ou quilombolas; a negociação de Contratos de Utilização de Componente do Patrimônio Genético e de Conhecimento Tradicional Associado e Repartição de Benefícios; o controle de transferência de germoplasma e de informações de conhecimento tradicional associado. Ainda que sua implementação seja incipiente, existe uma expectativa de que possa produzir efeitos não desejados para a atividade investigativa, tais como constrangimento à livre circulação do conhecimento ou restrições ao intercâmbio de recursos genéticos.

Os principais instrumentos de implementação das disposições relativas ao acesso a recursos genéticos e aos conhecimentos tradicionais associados previstos na Convenção sobre Diversidade Biológica no Brasil são: a Medida Provisória nº 2.181-16/01 (Acesso a Recursos Genéticos e ao Conhecimento Tradicional Associado), o Decreto nº 3.945/01, o Decreto nº 5.459/05, as resoluções, as deliberações e as orientações técnicas do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético.

Medida Provisória de Acesso a Recursos Genéticos e ao Conhecimento Tradicional Associado

A Medida Provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001, regulamenta os artigos 1º, 8º, alínea “j”, 10, alínea “c”, 15 e 16, alíneas 3 e 4 da Convenção sobre Diversidade Biológica, com o intuito de *dispor sobre o acesso ao patrimônio genético, a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado, a repartição de benefícios e o acesso à tecnologia e transferência de tecnologia para sua conservação e utilização*. Tem por objetivo regular direitos e obrigações pertinentes ao acesso a componente do Patrimônio Genético e ao conhecimento tradicional a ele associado, para fins de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, bioprospecção ou conservação, visando sua aplicação industrial ou de qualquer outra natureza.

A expressão Patrimônio Genético é utilizada para designar recursos genéticos em estrita obediência ao texto constitucional contido no artigo 225, inciso II. A definição de Patrimônio Genético abrange a totalidade da biodiversidade originária no País, mas é suficientemente restrita para não se confundir com outros recursos utilizados nas atividades econômicas como, por exemplo, aqueles envolvidos na agropecuária e no agronegócio (criação de animais domésticos, cultivo de grãos, legumes, frutas), na exploração madeireira, na pesca e outras. Portanto, é suficientemente ampla para assegurar a proteção a que se almeja, mas restrita o bastante para não interferir em atividades lícitas e fundamentais para a economia do País, como agricultura, indústria e comércio.

Quanto ao conhecimento associado ao componente do Patrimônio Genético, esse se restringe ao conhecimento tradicional. Não tem a pretensão de alcançar os dados de passaporte pertinentes à coleta, os dados de caracterização, nem tampouco as tecnologias modernas vinculadas ao material, nem mesmo aquelas protegidas por direitos de propriedade intelectual. Adota o conceito de conhecimento tradicional associado ao Patrimônio Genético atrelado à informação ou prática individual ou coletiva

de comunidade indígena ou comunidade local, com valor real ou potencial. Foi inserida também a idéia de existência contínua desses conhecimentos comunitários associados ao componente do Patrimônio Genético, ao longo de gerações sucessivas, para contemplar apenas as comunidades que efetivamente os detenham em detrimento de qualquer apropriação oportunista que possa direta ou indiretamente eivar de vício o reconhecimento e repartição.

A MP nº 2.186-16/01 contempla o direito de o detentor decidir sobre o acesso de terceiro ao conhecimento tradicional associado a componente do Patrimônio Genético. Foi, portanto, garantido o livre arbítrio das comunidades locais e das comunidades indígenas e respeitadas as características culturais que definirão, caso a caso, a difusão ou não dos mencionados conhecimentos.

Para assegurar melhor controle e, ao mesmo tempo, promover maior desenvolvimento das atividades legais de acesso no País, a MP nº. 2.186-16/01 prevê que a autorização de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético será concedida exclusivamente à instituição nacional, pública ou privada, que exerça atividade de pesquisa e desenvolvimento nas áreas biológicas e afins. A instituição estrangeira interessada em acessar amostra de componente do Patrimônio Genético deverá associar-se a instituição pública nacional que exercerá, obrigatoriamente, a coordenação das atividades.

A inexistência de um sistema jurídico internacional estável, representado por legislações nacionais de todos os países signatários da Convenção sobre Diversidade Biológica que assegure retaguarda à aplicação dos princípios de repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização de amostra do Patrimônio Genético acessado, induziu à opção pelas vias contratuais, única forma possível da lei tornar-se efetiva, alcançando nacionais e estrangeiros.

O Contrato de Utilização do Patrimônio Genético e de Repartição de Benefícios é firmado pela instituição de pesquisa com o provedor, pessoa física ou jurídica, com a anuência da União, representada pela autoridade aplicadora da lei. Caso a instituição interessada obtenha ou invente um processo ou um produto que tenha como fonte de obtenção ou de variação o componente do Patrimônio Genético acessado, deverá repartir parte dos benefícios que venha a auferir.

As formas de repartição de benefícios são variadas e susceptíveis de negociação caso a caso pela instituição de pesquisa que venha a firmar o Contrato de Utilização do Patrimônio Genético e de Repartição de Benefícios e compreendem, dentre outras: divisão de lucros ou *royalties*; transferência de tecnologia; licenciamento de produtos e processos livres de ônus para o Brasil; e capacitação de recursos humanos.

A MP nº 2.186-16/01 confere à União a competência para a normatização, autorização e fiscalização do acesso e da exploração dos recursos genéticos, criando, no âmbito do Ministério do Meio Ambiente MMA, o Conselho de Gestão do Patrimônio Genético CGEN, o qual é composto por representantes da Administração Pública Federal.

Autoridade Competente - Conselho de Gestão do Patrimônio Genético

O Conselho de Gestão do Patrimônio Genético possui caráter deliberativo e normativo, sendo composto por um representante e dois suplentes de instituições da Administração Pública Federal³. Cabe ao Conselho de Gestão do Patrimônio Genético coordenar a implementação de políticas para a gestão do patrimônio genético, bem como estabelecer:

- normas técnicas, pertinentes à gestão do patrimônio genético;

³Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério da Saúde, Ministério da Justiça, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Defesa, Ministério da Cultura, Ministério das Relações Exteriores, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa, Fundação Oswaldo Cruz Fiocruz, Instituto Evandro Chagas, Fundação Nacional do Índio Funai, Instituto Nacional de Propriedade Industrial INPI e Fundação Cultural Palmares.

- critérios para as autorizações de acesso e de remessa;
- Diretrizes para elaboração de Contrato de Utilização do Patrimônio Genético e de Repartição de Benefícios;
- critérios para a criação de base de dados para o registro de informação sobre conhecimento tradicional associado.
- incumbe ao Conselho de Gestão do Patrimônio Genético deliberar sobre:
- autorização de acesso e de remessa de amostra de componente do patrimônio genético, simples ou especial;
- autorização de acesso a conhecimento tradicional associado, simples ou especial;
- credenciamento de instituição pública nacional de pesquisa e desenvolvimento, ou de instituição pública federal de gestão, para autorizar acesso ou remessa;
- credenciamento de instituição pública nacional para ser fiel depositária de amostra de componente do patrimônio genético;
- desc credenciamento de instituições pelo descumprimento das disposições da Medida Provisória nº 2.186-16/01 e do Decreto nº 3.945/01.

O CGEN instituiu quatro câmaras técnicas com o objetivo de discutir e sugerir a implementação da MP nº 2.186-16/01: Câmara do Patrimônio Genético mantido em condições *ex situ* - PAGEX⁴; Câmara de Conhecimento Tradicional Associado - CTA⁵; Câmara de Repartição de Benefícios - RB⁶ e Câmara de Procedimentos Administrativos - Pa⁷.

Definições necessárias à aplicação da Legislação de Acesso a Recursos Genéticos e ao Conhecimento Tradicional Associado

As definições aplicáveis à regulamentação do acesso nem sempre correspondem às comumente utilizadas pelos profissionais das ciências da natureza. Isso deve-se ao caráter multidisciplinar das atividades de pesquisa reguladas. As principais definições contidas na Convenção sobre Diversidade Biológica são genéricas o suficiente para acomodarem interpretações adaptadas aos diferentes sistemas legais dos países signatários. As mais relevantes para a regulamentação do acesso no Brasil são:

⁴As atividades previstas para esta Câmara são: (i) Discussão das diretrizes a serem adotadas pela Câmara para seu funcionamento; (ii) Estabelecimento de grupos de trabalho para temas que forem julgados específicos ou que requererem breve solução; (iii) Convite à especialistas para assessorar os membros da Câmara a respeito de aspectos técnicos e científicos; (iv) Elaboração e encaminhamento ao Plenário de Propostas de Resoluções sobre os temas afetos à Câmara.

⁵Além das atribuições gerais previstas no art. 29 do Regimento Interno do Conselho, esta Câmara tem como atribuições: (i) elaborar e encaminhar ao Plenário do Conselho propostas de normas e procedimentos relativos aos capítulos III, V e VII da MP nº 2.186-16/01, e outros artigos relacionados ao tema foco da Câmara; (ii) relatar e submeter à aprovação do Plenário do Conselho consulta que lhe for encaminhada a respeito da proteção ao acesso e à remessa do conhecimento tradicional associado e, subsidiariamente, da repartição de benefícios; (iii) convidar especialistas para assessorá-la em assuntos relativos à proteção ao conhecimento tradicional associado e à repartição de benefícios; e (iv) promover consultas e debates com os detentores do conhecimento tradicional associado.

⁶Suas atribuições são: (i) elaborar e encaminhar ao Plenário do Conselho propostas de normas e procedimentos relativos aos capítulos VI e VII da MP nº 2.186/01 e a outros artigos relacionados ao tema foco da Câmara; (ii) relatar e submeter à aprovação do Plenário do Conselho consulta que lhe for encaminhada a respeito da repartição de benefícios; (iii) convidar especialistas para assessorá-la em aspectos técnicos, científicos e jurídicos, referentes à repartição de benefícios; e (iv) convidar para debates os detentores de conhecimento tradicional associado e demais interessados na Repartição de Benefícios.

⁷São atribuições desta Câmara: (i) elaborar e encaminhar ao Plenário do Conselho propostas de normas e procedimentos relativos aos capítulos III, V, VI e VII da MP nº 2.186-16/01 e outros artigos relacionados ao tema foco da Câmara; (ii) relatar e submeter à aprovação do Plenário do Conselho resposta da consulta que lhe for submetida a respeito dos procedimentos administrativos adotados para obtenção de autorizações ou credenciamentos junto ao CGEN; (iii) Estabelecer grupos de trabalho para temas que forem julgados específicos ou que requirirem brevidade para apresentação de suas análises ou de propostas deles decorrentes; (iv) Participar em eventos relacionados ao tema foco desta Câmara, assim como de reuniões conjuntas com as outras Câmaras Temáticas, por solicitação do plenário do Conselho ou de sua Secretaria Executiva, ou ainda, do Coordenador da Câmara; e (iv) Convidar especialistas para assessorar os membros da Câmara em discussões a respeito de assuntos relativos aos procedimentos adequados para obtenção de autorizações ou credenciamentos junto ao CGEN.

- **Condições *in-situ*** significa as condições em que recursos genéticos existem em ecossistemas e *habitats* naturais e, no caso de espécies domesticadas ou cultivadas, nos meios onde tenham desenvolvido suas propriedades características.
- **Conservação *ex situ*** significa a conservação de componentes da diversidade biológica fora de seus *habitats* naturais.
- **Conservação *in situ*** significa a conservação de ecossistemas e *habitats* naturais e a manutenção e recuperação de populações viáveis de espécies em seus meios naturais e, no caso de espécies domesticadas ou cultivadas, nos meios onde tenham desenvolvido suas propriedades características.
- **Espécie domesticada ou cultivada** significa espécie em cujo processo de evolução influenciou o ser humano para atender suas necessidades.
- **Habitat** significa o lugar ou tipo de local onde um organismo ou população ocorre naturalmente.
- **País de origem de recursos genéticos** significa o país que possui esses recursos genéticos em condições *in situ*.
- **País provedor de recursos genéticos** significa o país que provê recursos genéticos coletados de fontes *in situ*, incluindo populações de espécies domesticadas e silvestres, ou obtidas de fontes *ex situ*, que possam ou não ter sido originados nesse país.
- **Recursos biológicos** compreendem recursos genéticos, organismos ou partes destes, populações, ou quaisquer outros componentes bióticos de ecossistemas, de real ou potencial utilidade ou valor para a humanidade.
- **Recursos genéticos** significam material genético de valor real ou potencial.
- **Utilização sustentável** significa a utilização de componentes da diversidade biológica de modo e em ritmo tais que não levem, no longo prazo, à diminuição da diversidade biológica, mantendo assim seu potencial para atender as necessidades e aspirações das gerações presentes e futuras.

A implementação nacional destas disposições, representada pela publicação da MP nº 2.186-16/01, complementou estas definições, introduzindo os seguintes conceitos:

- **Patrimônio genético:** informação de origem genética, contida em amostras do todo ou de parte de espécime vegetal, fúngico, microbiano ou animal, na forma de moléculas e substâncias provenientes do metabolismo destes seres vivos e de extratos obtidos destes organismos vivos ou mortos, encontrados em condições *in situ*, inclusive domesticados, ou mantidos em coleções *ex situ*, desde que coletados em condições *in situ* no território nacional, na plataforma continental ou na zona econômica exclusiva.
- **Comunidade local:** grupo humano, incluindo remanescentes de comunidades de quilombos, distinto por suas condições culturais, que se organiza, tradicionalmente, por gerações sucessivas e costumes próprios, e que conserva suas instituições sociais e econômicas.
- **Acesso ao patrimônio genético:** obtenção de amostra de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico ou bioprospecção, visando a sua aplicação industrial ou de outra natureza.
- **Acesso ao conhecimento tradicional associado:** obtenção de informação sobre conhecimento ou prática individual ou coletiva, associada ao patrimônio genético, de comunidade indígena ou de comunidade local, para fins de pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico ou bioprospecção, visando sua aplicação industrial ou de outra natureza.
- **Acesso à tecnologia e transferência de tecnologia:** ação que tenha por objetivo o acesso, o desenvolvimento e a transferência de tecnologia para a conservação e a utilização da diversidade biológica ou tecnologia desenvolvida a partir de amostra de componente do patrimônio genético ou do conhecimento tradicional associado.

- **Bioprospecção:** atividade exploratória que visa identificar componente do patrimônio genético e informação sobre conhecimento tradicional associado, com potencial de uso comercial.
- **Espécie ameaçada de extinção:** espécie com alto risco de desaparecimento na natureza em futuro próximo, assim reconhecida pela autoridade competente.
- **Espécie domesticada:** aquela em cujo processo de evolução influenciou o ser humano para atender às suas necessidades.
- **Condição *ex situ*:** manutenção de amostra de componente do patrimônio genético fora de seu habitat natural, em coleções vivas ou mortas.
- **Contrato de Utilização do Patrimônio Genético e de Repartição de Benefícios:** instrumento jurídico multilateral, que qualifica as partes, o objeto e as condições de acesso e de remessa de componente do patrimônio genético e de conhecimento tradicional associado, bem como as condições para repartição de benefícios.

Atividades de Acesso e Remessa reguladas pela Legislação de Acesso

As atividades de acesso e remessa reguladas pela MP nº 2186-16/01 e que necessitam de autorização da União para sua execução são aquelas que utilizam:

- Material animal, microbiano, fúngico ou vegetal nativo ou material exótico domesticado que tenha desenvolvido propriedades características;
- Conhecimentos tradicionais associados ao recurso genético de comunidades locais ou indígenas.

O material nativo é aquele proveniente da biodiversidade brasileira, em outras palavras aquele que possui como origem algum bioma pertencente ao território brasileiro. O material exótico domesticado que desenvolveu propriedades características é aquele que possui alguma característica desenvolvida no Brasil e que seja objeto da pesquisa. É importante ressaltar que atividades de acesso que utilizem material proveniente dos Bancos Internacionais ou de terceiros países, desde que não tenham sido coletados no Brasil, não necessitam solicitar autorização de acesso. Os conhecimentos tradicionais associados são a informação ou prática individual ou coletiva de comunidade indígena ou de comunidade local, com valor real ou potencial, associada ao patrimônio genético.

Atendida uma das duas primeiras condições, as atividades de acesso devem ainda utilizar informação de origem genética, bem como terem finalidade de pesquisa científica, bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico.

A pesquisa científica é entendida como aquela sem fins econômicos. Contudo, diversos tipos de pesquisas e atividades científicas, em especial aqueles que estudam a história evolutiva, ecologia, diagnóstico, fisiologia e formação de coleções enquadram-se sob o conceito de acesso ao patrimônio genético para fins de pesquisa científica por utilizarem ferramentas metodológicas moleculares para a sua execução de modo circunstancial e não propriamente porque seus objetivos ou perspectivas estejam relacionados com o acesso ao patrimônio genético. No entanto, sua finalidade, assim como seus resultados e aplicações, não interferem no principal objetivo da Medida Provisória nº 2.186-16/01, que é a garantia da repartição justa e equitativa dos benefícios resultantes da exploração econômica de produto ou processo desenvolvido a partir de amostras de componentes do patrimônio genético. Nesse sentido, a Resolução do CGEN nº 21 determinou que essas pesquisas e atividades científicas não se enquadram sob o conceito de acesso ao patrimônio genético considerando as finalidades da Medida Provisória nº 2.186-16/01.

Dessa forma, dispensou da obtenção de autorização de acesso: (i) pesquisas que visem elucidar a história evolutiva de uma espécie ou de grupo taxonômico a partir da identificação de espécie ou espécimes, da avaliação de relações de parentesco, da avaliação da diversidade genética da população ou das relações dos seres vivos entre si ou com o meio ambiente; (ii) testes de filiação, técnicas de sexagem e análises de cariótipo que visem a identificação de uma espécie ou espécime; (iii) pesquisas

epidemiológicas ou aquelas que visem a identificação de agentes etiológicos de doenças, assim como a medição da concentração de substâncias conhecidas cujas quantidades, no organismo, indiquem doença ou estado fisiológico; (iv) pesquisas que visem a formação de coleções de ADN, tecidos, germoplasma, sangue ou soro.

A bioprospecção é a atividade exploratória que visa identificar componente do patrimônio genético e informação sobre conhecimento tradicional associado, com potencial de uso comercial. O desenvolvimento tecnológico tem sido entendido como o desenvolvimento de produtos.

A Orientação Técnica CGEN nº 01 estabelece diferenças entre remessa e transporte.

- remessa: envio, permanente ou temporário, de amostra de componente do patrimônio genético, com a finalidade de acesso para pesquisa científica, bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico, no qual a responsabilidade pela amostra transfira-se da instituição remetente para a instituição destinatária;
- transporte: envio de amostra de componente do patrimônio genético com a finalidade de acesso para pesquisa científica, bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico, no qual a responsabilidade pela amostra não se transfira da instituição remetente para a instituição destinatária.

A remessa de amostra de componente do patrimônio genético para o exterior depende da assinatura de termo de transferência de material TTM pelos representantes legais das instituições, sujeito ao cumprimento de condições específicas. O TTM é instrumento de adesão a ser firmado pela instituição destinatária antes da remessa de qualquer amostra de componente do patrimônio genético, indicando, quando for o caso, se houve acesso a conhecimento tradicional associado.

O transporte de amostra de componente do patrimônio genético para o exterior depende da assinatura de termo de responsabilidade para transporte de material TRTM pelo pesquisador e pelo representante legal da instituição autorizada, sujeito ao cumprimento de condições específicas.

As espécies do Sistema Multilateral de Acesso e Repartição de Benefícios obedecem às regras estabelecidas pelo Órgão Gestor do Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e Agricultura da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação TIRFAA. Nesse sentido, a remessa de amostra de componente do patrimônio genético dessas espécies, consideradas de intercâmbio facilitado, deverá ser efetuada em conformidade com as condições do TIRFAA, conforme determina o parágrafo segundo do artigo 19 da Medida Provisória nº 2186-16/01.

Decreto nº 3.945/01

Para assegurar melhor controle e, ao mesmo tempo, promover maior desenvolvimento das atividades legais de pesquisa em biodiversidade no País, a MP nº 2.186-16/01 e o Decreto nº 3.945/01, instituíram um sistema para regular o acesso ao patrimônio genético e aos conhecimentos tradicionais associados, destinado a viabilizar a repartição de benefícios derivados do seu uso.

O Decreto nº 3.945 de 28 de setembro de 2001 define a composição e estabelece as regras de funcionamento do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético - CGEN, órgão com a responsabilidade de coordenar a implantação das políticas para gestão do patrimônio genético e estabelecer normas técnicas para a sua gestão. Dispõe também sobre os diferentes tipos de autorização de acesso e remessa e os documentos e procedimentos necessários à sua obtenção, bem como do credenciamento de instituição fiel depositária.

Foi modificado por três decretos posteriores: o Decreto nº. 4.946 de 31 de dezembro de 2003, o Decreto nº 5.439 de 3 de maio de 2005 e o Decreto nº 6.159 de 17 de julho de 2007. O Decreto nº 4.946/03 introduziu modificações profundas no Decreto nº 3.945/01 em relação aos requisitos necessários para obtenção de autorizações de acesso e remessa previstos na MP 2.186-16/01. Acrescentou ainda uma nova modalidade de autorização especial para realizar o acesso ao patrimônio genético com a finalidade de constituir e integrar coleções *ex situ* que visem atividades com potencial

de uso econômico, como a bioprospecção ou o desenvolvimento tecnológico. O Decreto nº 5.439/05 introduziu apenas modificações pontuais na composição e no quorum do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético. O Decreto nº 6.159/07 regulamentou a autorização especial com a finalidade de bioprospecção e possibilitou a apresentação do contrato em momento posterior à solicitação de autorização de acesso.

Decreto nº 5.459/05

O Decreto nº 5.459, de 7 de junho de 2005, disciplina as sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado. Com a sua publicação, as instituições que exercem atividades de pesquisa utilizando componentes da biodiversidade brasileira sem a autorização do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético tornaram-se passíveis de instalação de processos administrativos que podem culminar com a interdição do estabelecimento e com a aplicação de multas.

O decreto estabelece a apuração das infrações por processo administrativo próprio de cada autoridade competente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA e o Comando da Marinha do Ministério da Defesa, assegurando o direito da ampla defesa e do contraditório.

O artigo 10 determina que as infrações administrativas contra o patrimônio genético ou o conhecimento tradicional associado serão punidas com as seguintes sanções, aplicáveis, isolada ou cumulativamente, às pessoas físicas ou jurídicas: advertência, multa, apreensão das amostras de componentes do patrimônio genético e dos instrumentos utilizados na sua coleta ou no processamento ou dos produtos obtidos a partir de informação sobre conhecimento tradicional associado, apreensão dos produtos derivados de amostra de componente do patrimônio genético ou do conhecimento tradicional associado, suspensão da venda do produto derivado de amostra de componente do patrimônio genético ou do conhecimento tradicional associado e sua apreensão, embargo da atividade, interdição parcial ou total do estabelecimento, atividade ou empreendimento, suspensão ou cancelamento de registro, patente, licença ou autorização, perda ou restrição de incentivo e benefício fiscal concedidos pelo governo e/ou da participação em linha de financiamento em estabelecimento oficial de crédito, intervenção no estabelecimento e proibição de contratar com a administração pública, por período de até cinco anos.

A sanção de multa terá seu valor arbitrado pela autoridade competente, podendo variar de R\$ 200,00 (duzentos reais) a R\$ 100.000,00 (cem mil reais), quando se tratar de pessoa física; ou R\$ 10.000,00 (dez mil reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais), se a infração for cometida por pessoa jurídica, ou com seu concurso.

Processo Administrativo - Autorizações de Acesso/Remessa

As autorizações de acesso/remessa são prévias e concedidas somente a instituições nacionais que exerçam atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas biológicas e afins, na forma disposta pela MP nº 2.186-16/01 e demais instrumentos legais.

As autorizações podem ser simples ou especiais, diferenciam entre si conforme o objeto, se tratam de acesso ao patrimônio genético ou acesso ao conhecimento tradicional associado, e quanto à finalidade, se são para pesquisa científica, bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico.

A Autorização simples de Acesso e de Remessa é um documento que permite, sob condições específicas, o acesso à amostra de componente do patrimônio genético e sua remessa à instituição destinatária e o acesso a conhecimento tradicional associado. As autorizações simples são concedidas para cada projeto, caso a caso, com a análise individual.

A autorização especial é uma espécie de autorização em conjunto, com prazo de duração de 2 (dois) anos, renovável por iguais períodos. Seu objetivo é facilitar o atendimento às exigências legais por parte daquelas instituições que possuem um grande volume de pesquisas e atividades rotineiras que necessitam de autorização de acesso. A autorização especial permite que a instituição possa inserir atividades ou projetos no portfólio, desde que observadas as condições estabelecidas na autorização e, no prazo de sessenta dias a partir do início da nova atividade ou projeto, o CGEN ou IBAMA seja comunicado por intermédio de formulário específico, assinado pelo representante legal da instituição autorizada.

A concessão de uma autorização especial considera ainda a comprovação de equipe técnica e infraestrutura disponível para gerenciar os termos de transferência de material a serem assinados previamente à remessa de amostra e/ou transmissão de informações para outras instituições.

Condições Gerais

As autorizações podem ser de acesso e/ou de remessa de componente do patrimônio genético e/ou acesso ao conhecimento tradicional associado para fins de pesquisa científica, bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico, possuindo exigências, formulários e procedimentos distintos conforme sua finalidade. Algumas exigências são válidas para todas as autorizações: a representação legal da instituição, as comprovações institucionais, o projeto de pesquisa e a indicação de instituição credenciada como fiel depositária para realização do depósito de amostra.

Representação legal da instituição

As autorizações são solicitadas por intermédio de formulários padronizados disponibilizados no endereço eletrônico do CGEN ou do IBAMA. Esses formulários devem ser firmados pelo representante legal da instituição solicitante ou por um procurador, desde que anexado à solicitação o instrumento de procuração que delega poderes específicos.

É importante salientar que a lei refere-se ao representante legal da instituição, o que significa seu dirigente máximo. No caso de delegação de poderes como ocorre, por exemplo, com chefes de departamentos de universidades, a delegação deve ser explícita sobre os poderes para representar a instituição perante o CGEN. Uma delegação de poderes genérica não é suficiente. Ao apresentar a solicitação da autorização de acesso, a instituição deve apresentar cópia do Ato que delega a competência do Representante Legal da instituição solicitante ou o instrumento de procuração que delegue poderes específicos a outro membro da instituição quando a solicitação for feita por procurador.

O representante legal da instituição deverá ainda firmar um termo de compromisso comprometendo-se a acessar o patrimônio genético ou conhecimento tradicional associado única e exclusivamente para a finalidade autorizada.

Comprovações institucionais

Algumas exigências são comuns a qualquer espécie de autorização, dentre elas, as comprovações que a instituição:

- constituiu-se sob as leis brasileiras. Pode ser comprovado pela apresentação do estatuto ou contrato social, se privada; e, no caso de instituição pública, indicação da lei de criação;
- exerce atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas biológicas e afins. Pode ser comprovado com a apresentação do estatuto e de lista de projetos desenvolvidos ou em desenvolvimento. Também podem ser anexadas listas das publicações derivadas destas atividades;

- possui qualificação técnica para o desempenho de atividades de acesso e remessa de amostra de componente do patrimônio genético ou de acesso ao conhecimento tradicional associado, quando for o caso. Pode ser demonstrado na descrição da equipe responsável pelas atividades previstas no projeto;
- possui estrutura disponível para o manuseio de amostra de componente do Patrimônio Genético. Pode ser comprovado com a descrição da infra-estrutura disponível para realização das atividades previstas no projeto, incluindo equipamentos disponíveis.

Essas comprovações podem ser apresentadas apenas por ocasião da primeira solicitação, não necessitando serem anexadas a cada solicitação de autorização. As instituições públicas de pesquisa e ensino podem ser dispensadas das exigências contidas nos itens 2 e 3.

Projeto de Pesquisa

Para autorizações simples, é necessária ainda a apresentação de um projeto de pesquisa que descreva a atividade de acesso, incluindo informação sobre o uso pretendido, ou seja, para o quê se pretende utilizar o material genético ou o conhecimento tradicional associado, se for o caso. O projeto de pesquisa deverá conter, obrigatoriamente:

- introdução, justificativa, objetivos, métodos e resultados esperados a partir da amostra ou da informação (conhecimento tradicional associado) a ser acessada;
- localização geográfica e cronograma das etapas do projeto, especificando o período em que serão desenvolvidas as atividades de campo e, quando se tratar de acesso a conhecimento tradicional associado, identificação das comunidades indígenas ou locais envolvidas (se possível, anexar mapa em escala adequada mostrando a região onde a atividade de coleta será realizada com indicação dos acidentes geográficos, pontos de referência e assentamentos humanos porventura existentes);
- discriminação do tipo de material ou informação a ser acessado e quantificação aproximada de amostras a serem obtidas;
- indicação das fontes de financiamento, dos respectivos montantes e das responsabilidades e direitos de cada parte (anexar contratos ou termos de cooperação que formalizem essa relação);
- identificação da equipe e *curriculum vitae* dos pesquisadores envolvidos, caso não estejam disponíveis na Plataforma Lattes, mantida pelo CNPq.

No caso de projetos de pesquisa desenvolvidos por mais de uma instituição, como os projetos em redes, é necessário encaminhar todos os instrumentos jurídicos relacionados ao projeto (contratos, memorandos de entendimentos, termos de cooperação, etc) que possam interferir nas atividades de pesquisa e na repartição de benefícios.

Indicação da instituição credenciada como fiel depositária

As amostras de componente do patrimônio genético devem obrigatoriamente ser depositadas em uma instituição credenciada junto ao CGEN como fiel depositária. Ao solicitar a autorização, a instituição deverá informar a instituição na qual será oportunamente realizado o depósito, é recomendável anexar ao pedido um instrumento de concordância da instituição fiel depositária em receber o material. Em relação ao conhecimento tradicional associado, deposita-se a amostra sobre a qual o conhecimento é associado e não o conhecimento tradicional em *per si*.

Autorizações concedidas pelo IBAMA

O IBAMA foi cadastrado pelo CGEN, por intermédio da deliberação nº 40, de 24 de setembro de 2003, para autorizar acesso e remessa de amostra de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica. Esse credenciamento é por tempo indeterminado e pode ser revisado a qualquer tempo pelo CGEN quanto à sua abrangência ou restrições. O IBAMA atualmente é responsável pelas seguintes autorizações:

- Autorização de acesso e de remessa/transporte de amostra de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica;
- Autorização Especial de acesso e de remessa/transporte de amostra de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica.

Autorização de acesso e de remessa de amostra de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica

Devem solicitar esta autorização junto ao IBAMA, as instituições que desenvolvam atividades de acesso a componente do patrimônio genético, desde que não envolvam material proveniente de áreas ocupadas por comunidades tradicionais ou acesso a conhecimento tradicional associado. Além das exigências comuns a todos os pedidos de autorização explicitadas no tópico anterior, para solicitar a autorização com finalidade de pesquisa científica também é necessário:

- Preencher formulário para solicitação de coleta de material biológico, de acesso e de remessa de amostra de componente do patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, sem potencial de uso econômico, disponível no endereço eletrônico do IBAMA;
- Apresentar anuências prévias para realização de expedição de coleta para obtenção de amostra do patrimônio genético:
 - Autorização para ingressar ou realizar pesquisa em unidade de conservação (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ou órgãos estaduais de meio ambiente);
 - Autorização para ingresso em área indispensável à segurança nacional (Conselho Nacional de Defesa);
 - Autorização da autoridade marítima para coleta de material biológico em águas jurisdicionais brasileira, plataforma continental e zona econômica exclusiva.

O CGEN declarou a pesquisa científica como de relevante interesse público, nos termos do art. 17 da MP nº 2186-16/01 e da Resolução CGEN nº 08, dispensando assim a comprovação formal da anuência prévia dos titulares de áreas privadas. Essa dispensa não significa que os direitos advindos da propriedade privada não devem ser respeitados, o que se dispensou foi a elaboração de um instrumento jurídico formal, por exigência deste diploma legal específico.

Caso o material acessado necessite ser levado para outra instituição para realização de análises ou testes que envolvam atividades de acesso, é necessária a assinatura de Termo de Responsabilidade para Transporte de amostra de componente do patrimônio genético. Caso o material venha a ser transferido para outra instituição, inclusive com transferência de responsabilidades, deverá ser assinado o Termo de Transferência de Material pela instituição destinatária do material. Ambos os termos estão disponíveis em português e inglês no endereço eletrônico do IBAMA.

Na remessa de espécimes da fauna deverá ser preenchido o formulário do Sistema de Autorização e Informação da Biodiversidade Sisbio do IBAMA. O Sisbio permite aos pesquisadores solicitar autorizações e licenças para coleta de material biológico, execução de pesquisa em unidades de conservação, exportação e importação de material biológico, bem como a apresentação dos respectivos relatórios. Também observada as exigências específicas para espécies incluídas na lista da

Convenção sobre Comércio Internacional de Espécies da Fauna e Flora Silvestres em Perigo de Extinção CITES. Apesar destas obrigações não advirem diretamente da legislação de acesso e sim da Lei de Fauna e da CITES, são essenciais para a remessa.

Os procedimentos referentes à remessa de componente do patrimônio genético coletada em condições *in situ*, no território nacional, plataforma continental ou zona econômica exclusiva, e mantida em condições *ex situ*, para o desenvolvimento de pesquisa científica sem potencial de uso econômico são definidos pela Resolução nº 20.

Os procedimentos para o transporte de amostra de componente do patrimônio genético existente em condição *in situ*, no território nacional, plataforma continental e zona econômica exclusiva, mantida em condição *ex situ*, exclusivamente para desenvolvimento de pesquisa científica sem potencial de uso econômico, que não requeira depósito definitivo na instituição onde será realizada a pesquisa, são definidos pela Resolução nº 15.

Autorização Especial de acesso e de remessa de amostra de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica

Devem solicitar esta autorização junto ao IBAMA, as instituições que desenvolvam atividades de acesso a componente do patrimônio genético, desde que não envolvam material proveniente de áreas ocupadas por comunidades tradicionais ou acesso a conhecimento tradicional associado.

Além das exigências comuns a todos os pedidos de autorização já explicitadas, também é necessário:

- Preencher formulário para solicitação de autorização especial de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado, para fins de pesquisa científica, disponível no endereço eletrônico do IBAMA;
- Portfólio dos projetos e das atividades de rotina que envolvam acesso ao patrimônio genético desenvolvidas pela instituição, que descreva de forma sumária as atividades a serem desenvolvidas, bem como os projetos resumidos, os quais deverão conter as seguintes informações mínimas:
 - objetivos, material, métodos, uso pretendido e destino da informação (conhecimento tradicional associado) a ser acessada;
 - área de abrangência das atividades de campo e identificação das comunidades indígenas ou locais envolvidas;
 - indicação das fontes de financiamento;
 - identificação da equipe e *curriculum vitae* dos pesquisadores envolvidos, caso não estejam disponíveis na Plataforma Lattes, mantida pelo CNPq.
- Apresentar anuências prévias para realização de expedição de coleta.
 - Autorização para ingressar ou realizar pesquisa em unidade de conservação (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ou órgãos estaduais de meio ambiente);
 - Autorização para ingresso em área indispensável à segurança nacional (Conselho Nacional de Defesa);
 - Autorização da autoridade marítima para coleta de material biológico em águas jurisdicionais brasileira, plataforma continental e zona econômica exclusiva.

Autorizações concedidas pelo Conselho de Gestão do Patrimônio Genético

As autorizações de acesso e remessa com finalidade de bioprospecção e desenvolvimento tecnológico, bem como acesso a conhecimento tradicional associado para qualquer finalidade, devem ser solicitadas junto ao CGEN.

Autorização de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado para fins de bioprospecção e/ou desenvolvimento tecnológico

Devem solicitar esta autorização, as instituições que desenvolvam atividades de acesso a componente do patrimônio genético e/ou ao conhecimento tradicional associado com finalidade de bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico.

- Além das exigências comuns a todos os pedidos de autorização já explicitadas, também é necessário:
- Preencher formulário para solicitação de autorização de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado, para fins de bioprospecção e/ou desenvolvimento tecnológico, disponível no endereço eletrônico do CGEN;
- Apresentar comprovação da titularidade das áreas onde serão coletadas as amostras a serem acessadas.
- Apresentar anuências prévias:
 - do titular da área pública ou privada, e/ou
 - da comunidade indígena ou local, se for o caso.
- Autorização para ingressar ou realizar pesquisa em unidade de conservação (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ou órgãos estaduais de meio ambiente), se for o caso;
- Autorização para ingresso em área indispensável à segurança nacional (Conselho Nacional de Defesa), se for o caso;
- Autorização da autoridade marítima para coleta de material biológico em águas jurisdicionais brasileira, plataforma continental e zona econômica exclusiva, se for o caso.
- Contrato de Utilização do Patrimônio Genético e de Repartição de Benefícios, assinado pelas partes;
- Identificação de informação a ser tratada como confidencial e resumo, não confidencial, para publicação.

A anuência prévia de comunidades tradicionais deve ser obtida segundo as diretrizes estabelecidas pelas Resoluções CGEN nº 6 e 12, que estabelecem dentre outras obrigações a emissão de laudo antropológico independente. É recomendável que o processo seja documentado, de preferência fotografado e gravado, de modo a comprovar que a comunidade foi efetivamente esclarecida. O termo de anuência prévia deve ser datado em todas as suas páginas e as assinaturas não devem constar em folha separada do termo.

Especial atenção deve ser dada à questão da representatividade da comunidade tradicional envolvida e do compartilhamento dos conhecimentos tradicionais associados acessados. Um correto tratamento destes dois temas pode evitar uma série de questionamentos futuros.

A elaboração e análise dos Contratos de Utilização do Patrimônio Genético e Repartição de Benefícios firmados entre particulares e que não envolvam conhecimento tradicional associado ou componente da fauna silvestre tem sua diretrizes estabelecidas pela Resolução CGEN nº 3 e 7.

Em relação aos Contratos de Utilização do Patrimônio Genético e Repartição de Benefícios que envolvam acesso a componente do patrimônio genético ou conhecimentos tradicionais providos por comunidades indígenas ou locais, devem ser seguidas as diretrizes para a elaboração e análise estabelecidas na Resolução CGEN nº 11.

Por ocasião da deliberação do CGEN sobre a solicitação será realizada também a anuência ao Contrato, conforme estabelece o Artigo 29 da MP nº 2.186-16/01. Nos casos em que a União é parte do Curb, a Resolução nº 27, de 27 de setembro de 2007, estabelece as diretrizes para sua elaboração.

Autorização Especial de acesso ao patrimônio genético com a finalidade de constituir e integrar coleções *ex situ* que visem atividades com potencial de uso econômico, como a bioprospecção ou o desenvolvimento tecnológico

Esta autorização tem por objetivo a constituição de coleções *ex situ* que necessitem da realização de atividades de acesso para sua própria constituição, como por exemplo os bancos de DNA e extratotecas. Esta autorização não autoriza a realização de outras atividades de pesquisa que necessitem de acesso, as quais deverão ser objeto de solicitações de autorização de acesso específicas.

Além das exigências comuns a todos os pedidos de autorização já anteriormente explicitadas, são necessárias:

- preencher formulário para solicitação de autorização especial de acesso ao patrimônio genético para constituir e integrar coleção *ex situ* que vise a atividade com potencial de uso econômico, como bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico, disponível no endereço eletrônico do CGEN;
 - projeto de constituição de coleção *ex situ* a partir de atividades de acesso ao patrimônio genético, que contenha:
 - objetivos, material, métodos, uso pretendido e destino da amostra a ser acessada;
 - área de abrangência das atividades de campo;
 - indicação das fontes de financiamento; e
 - identificação da equipe e *curriculum vitae* dos pesquisadores envolvidos, caso não estejam disponíveis na Plataforma Lattes, mantida pelo CNPq.
- apresentação das anuências prévias;
- indicação do destino do material genético, bem como da equipe técnica e da infra-estrutura disponíveis para gerenciar os termos de transferência de material a serem assinados previamente à remessa de amostra para outra instituição nacional, pública ou privada;
- assinatura, pelo representante legal da instituição, de termo de compromisso pelo qual comprometa-se a acessar patrimônio genético apenas para a finalidade de constituir coleção *ex situ*; e
- apresentação, para aprovação pelo CGEN, de modelo de Contrato de Utilização do Patrimônio Genético e Repartição de Benefícios, a ser firmado com o proprietário da área pública ou privada ou com representante da comunidade indígena e do órgão indigenista oficial.

A instituição beneficiada pela autorização deverá encaminhar ao Conselho de Gestão relatórios cuja periodicidade será fixada na autorização, não podendo exceder o prazo de doze meses, contendo, no mínimo:

- indicação das áreas onde foram realizadas as coletas, por meio de coordenadas geográficas, bem como dos respectivos proprietários;
- listagem quantitativa e qualitativa das espécies ou morfotipos coletados em cada área;
- comprovação do depósito das sub-amostras em instituição fiel depositária credenciada pelo Conselho de Gestão;

- apresentação dos termos de transferência de material assinados;
- indicação das fontes de financiamento, dos respectivos montantes e das responsabilidades e direitos de cada parte; e
- resultados preliminares.

Autorização Especial de acesso e remessa de amostra de componente do patrimônio genético, para fins de bioprospecção

Devem solicitar esta autorização, as instituições que desenvolvam, rotineiramente, atividades de acesso a componente do patrimônio genético, para fins de bioprospecção, desde que não envolvam acesso a conhecimento tradicional associado.

Diferentemente da autorização simples, a autorização especial prevê a possibilidade de inserção de projetos no portfólio, durante sua vigência, desde que cumpridas as condições de sua concessão.

Além das exigências comuns a todos os pedidos de autorização já explicitadas, também é necessário:

- preencher o formulário eletrônico próprio para a autorização de acesso a ser solicitada;
- portfólio dos projetos que envolvam acesso e remessa;
- indicação do destino das amostras, quando houver previsão;
- indicação da equipe técnica e da infra-estrutura disponíveis para gerenciar os termos de transferência de material, nos casos de remessa;
- indicação da instituição credenciada como fiel depositária prevista para receber as subamostras;

As anuências prévias e os CURBs podem ser encaminhadas ao CGEN no momento da solicitação da autorização especial ou quando forem ocorrer as expedições de coleta. A apresentação de CURBs pode ser postergada pelo Conselho de Gestão, desde que:

- o interessado declare não existir perspectiva de uso comercial;
- o anuente preveja, no Termo de Anuência Prévia, momento diverso para a formalização do contrato;
- a formalização do CURB anteceda o início do desenvolvimento tecnológico ou o depósito do pedido de patentes;
- em caso de remessa para o exterior, seja firmado TTM contendo compromisso expresso da instituição destinatária de não ceder a terceiros o componente do patrimônio genético, iniciar atividade de desenvolvimento tecnológico ou depositar pedido de patente, sem a prévia assinatura do contrato e correspondente autorização do Conselho de Gestão, quando for o caso.

As atividades de bioprospecção somente poderão ser iniciadas pela instituição beneficiada por essa autorização especial após a aprovação das anuências prévias pelo Conselho de Gestão.

O projeto que não enviar as respectivas anuências prévias e os CURBs no tempo previsto será excluído da autorização especial de acesso, sem prejuízo da aplicação das sanções administrativas pertinentes.

Autorização de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado para fins de pesquisa científica

Devem solicitar esta autorização, as instituições que desenvolvam atividades de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado com finalidade de pesquisa científica.

Além das exigências comuns a todos os pedidos de autorização já explicitadas, também é necessário:

- Preencher formulário para solicitação de autorização de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado, para fins de pesquisa científica, disponível no endereço eletrônico do CGEN;
- Apresentar anuências prévias das comunidades tradicionais envolvidas.
- Autorização para ingressar ou realizar pesquisa em unidade de conservação (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ou órgãos estaduais de meio ambiente), se for o caso;
- Autorização para ingresso em área indispensável à segurança nacional (Conselho Nacional de Defesa), se for o caso;
- Autorização da autoridade marítima para coleta de material biológico em águas jurisdicionais brasileira, plataforma continental e zona econômica exclusiva, se for o caso.
- Identificação de informação a ser tratada como confidencial e resumo, não confidencial, para publicação.

Os comentários sobre a obtenção de anuência prévia de comunidades tradicionais efetuados na tópico sobre a solicitação de autorização de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado, para fins de bioprospecção e/ou desenvolvimento tecnológico também se aplicam à autorização para fins de pesquisa científica, simples ou especial, exceto no que se refere à necessidade de laudo antropológico.

Autorização Especial de acesso a conhecimento tradicional associado para fins de pesquisa científica

Devem solicitar esta autorização, as instituições que desenvolvam rotineiramente atividades de acesso a conhecimento tradicional associado com finalidade de pesquisa científica. Além das exigências comuns a todos os pedidos de autorização já explicitadas, também é necessário:

- Preencher formulário para solicitação de autorização de acesso a componente do patrimônio genético e/ou acesso a conhecimento tradicional associado, para fins de pesquisa científica, disponível no endereço eletrônico do CGEN;
- Portfólio dos projetos e das atividades de rotina que envolvam acesso ao conhecimento tradicional associado desenvolvidas pela instituição, que descreva de forma sumária as atividades a serem desenvolvidas, bem como os projetos resumidos, os quais deverão conter as seguintes informações mínimas:
 - objetivos, material, métodos, uso pretendido e destino da informação (conhecimento tradicional associado) a ser acessada;
 - área de abrangência das atividades de campo e identificação das comunidades indígenas ou locais envolvidas;
 - indicação das fontes de financiamento;
 - identificação da equipe e *curriculum vitae* dos pesquisadores envolvidos, caso não estejam disponíveis na Plataforma Lattes, mantida pelo CNPq.
- Apresentar anuências prévias das comunidades tradicionais envolvidas.
- Identificação de informação a ser tratada como confidencial e resumo, não confidencial, para publicação.

Credenciamento de instituição como fiel depositária

A instituição fiel depositária tem por obrigação a conservação do material testemunho (sub-amostra), garantindo a identificação taxonômica correta e permitindo o rastreamento do patrimônio genético acessado.

O credenciamento, diferentemente das autorizações, não é obrigatório. Apenas as instituições que desejem se credenciar e tenham condições técnicas, financeiras e de infra-estrutura deverão solicitá-lo. O credenciamento não gera quaisquer benefícios em termos de financiamento público ou aprovação de projetos.

A instituição credenciada como fiel depositária assume obrigações específicas de guarda do material, podendo seu representante legal responder civil e penalmente pela perda desse material. O credenciamento não obriga a instituição receber qualquer espécie de material ou material de terceiros, sendo uma opção da instituição escolher quais materiais deseja receber.

As exigências para o cadastramento são:

- Preenchimento do formulário para solicitação de credenciamento de instituição pública nacional de pesquisa e desenvolvimento como fiel depositária de amostra de componente do patrimônio genético, disponível no endereço eletrônico do CGEN;
- Comprovação de sua atuação em pesquisa e desenvolvimento nas áreas biológicas e afins;
- Indicação da infra-estrutura disponível e capacidade para conservação, em condições *ex situ*, de amostras de componentes do Patrimônio Genético;
- Comprovação da capacidade da equipe técnica responsável pelas atividades de conservação;
- Descrição da metodologia e material empregado para a conservação de espécies sobre as quais a instituição assumirá responsabilidade, na qualidade de fiel depositária;
- Indicação da disponibilidade orçamentária para manutenção das coleções.

O Projeto Terra Preta de Índio no Contexto da Legislação de Acesso a Recursos Genéticos e ao Conhecimento Tradicional Associado

O objetivo geral do Terra Preta de Índio TPI é buscar e organizar informação existente sobre TPI, realizar investigação científica sobre as interações das propriedades químicas, físicas e biológicas na qualidade das TPIs visando, posteriormente, oferecer uma tecnologia alternativa de manejo sustentável de fertilidade de solos tropicais da região amazônica. Para tanto haverá um grupo interdisciplinar e internacional atuando na busca e organização (banco de dados) de conhecimento sobre TPIs. O resultado esperado no final do projeto é, além da criação de um banco de dados abrangente de informações existentes e desenvolvidas durante o projeto sobre as Terras Pretas de Índio, definir imperativos/recomendações de atividades para o desenvolvimento de produto(s), tecnologia(s) ou sistema(s) de manejo alternativo e sustentável da fertilidade de solos da Amazônia.

A Terra Preta de Índio é a denominação dada aos solos de origem, pelo nosso conhecimento atual, antropogênica, existentes na Região Amazônica. Dentre as hipóteses sobre os processos de formação das TPIs, a mais aceita atualmente diz que as TPIs teriam sido formadas não intencionalmente pelo homem pré-histórico. Como a matéria orgânica nas TPIs chega a ser seis vezes mais estável que nos solos adjacentes, estas áreas têm sido utilizadas pelo pequeno produtor da Amazônia, que consegue obter altas produtividades, mesmo sem a utilização de insumos ou com a utilização de uma quantidade bem menor de fertilizantes. Sendo assim, as TPIs podem ser consideradas exemplos extraordinários da convivência equilibrada entre homem e o meio ambiente.

O projeto aventa a possibilidade existente devido ao conhecimento e avanço tecnológico atuais de resgatar o conhecimento nos exemplos dos povos indígenas e incorporá-lo em tecnologias modernas que solucionem as necessidades dos produtores e habitantes da Amazônia, e talvez de outras regiões tropicais úmidas, e ao mesmo tempo sejam ambientalmente seguros e sustentáveis.

Nesse sentido, a TPI representa um exemplo de conhecimento, inovações e práticas das comunidades locais e populações indígenas com estilo de vida tradicionais relevantes à conservação e a utilização sustentável da diversidade biológica.

Ainda que se possa argumentar que esse conhecimento específico sobre as qualidades agrícolas desse solo sejam mais peculiares aos direitos do agricultor preconizados pelo Tratado Internacional sobre os Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura, até a implementação de lei nacional que promova a proteção e o reconhecimento desses direitos a legislação aplicável é a MP 2186-16/01.

Esse projeto demonstra claramente a urgente necessidade de implementação dos direitos do agricultor, em nível nacional. Esses conhecimentos e práticas de interesse para a agricultura situam-se em uma zona cinzenta entre os conhecimentos tradicionais associados, regulados na forma da MP 2186-16/01 e da Convenção sobre Diversidade Biológica e os direitos do agricultor, regulados na forma do Tratado Internacional sobre os Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura.

Embora uma interpretação mais ampla da definição de conhecimentos tradicionais associados estabelecida pela referida Medida Provisória possa incluir essa espécie de projeto em seu âmbito, a natureza dessas práticas e conhecimentos é nitidamente agrícola e relaciona-se mais com a biodiversidade do que propriamente com os recursos genéticos, regulados pela lei nacional. Dessa forma, as pesquisas realizadas sobre a terra preta de índio encontram-se em um vácuo jurídico, no que diz respeito à proteção dos direitos do agricultor ou se preferir, mais especificamente, dos conhecimentos tradicionais agrícolas associados à biodiversidade.

Conclusão

A importância do tema pode ser exemplificada pelo fato do Brasil ocupar o primeiro lugar dentre os países detentores de megadiversidade; possuir entre 15 e 20% do total de espécies da Terra; dispor da flora de maior diversidade, com 20 a 22% do número total de espécies de plantas; contar com cerca de 10% dos anfíbios e mamíferos; e 17% das aves do planeta. Essa riqueza potencial já representa para o país, em forma de uso direto, 45% do PIB (agroindústria, florestas e pescado), 31% das exportações, 30% da matriz energética, além de constituir um campo aberto para os avanços da biotecnologia (LEWINSOHN & PRADO: 2000).

A implementação deste marco legal permanece inacabada, haja vista a intensa atividade do CGEN em editar resoluções e orientações técnicas, de forma a possibilitar a aplicação da MP nº 2.186-16/01, em vigor indefinidamente, por força da Emenda Constitucional nº 32, que regulamenta a edição e consequentemente o trâmite de medidas provisórias.

A questão é por demais controversa entre a comunidade científica brasileira. Apesar de reconhecerem a necessidade de regulamentação do assunto, bem como a importância dos objetivos de uso sustentável, conservação e repartição de benefícios, pilares da Convenção sobre Diversidade Biológica, os pesquisadores de áreas biológicas e afins têm encontrado dificuldades para obedecer os ditames do diploma legal.

Uma das dificuldades frequentemente apontada é a abrangência do conceito de bioprospecção que inclui atividades típicas de pesquisa científica que não gerarão a curto e médio prazo benefícios econômicos. Tampouco o conceito de conhecimento tradicional associado está claramente definido, existindo interpretações de que os conhecimentos amplamente difundidos, inclusive em publicações, ainda que não identificados, seriam passíveis de repartição de benefícios e ensejariam a obtenção de anuência prévia das comunidades tradicionais.

As regras para obtenção de anuência prévia dificultam o acesso a esse conhecimento e são proibitivas, em termos de custos, para instituições públicas. A questão da representatividade da comunidade não está esclarecida, bastando um indivíduo discordar ou questionar a anuência para que todo o processo seja colocado sobre dúvida. Ademais, a anuência prévia pode a qualquer tempo ser revogada pela comunidade, sem qualquer motivação, o que gera insegurança jurídica para as instituições que contratam com terceiros para obter financiamentos.

A indefinição sobre os conhecimentos compartilhados por inúmeras comunidades impede a obtenção de anuência prévia, por desconhecimento sobre quais comunidades deverão ser consultadas. Tampouco foram estabelecidos cortes para discernir entre fatores culturais tradicionais difundidos na sociedade brasileira e conhecimentos tradicionais que caracterizem etnias ou grupos.

Adiciona-se à questão, a demora na promulgação e conseqüente implementação do Tratado Internacional da FAO para Recursos Fitogenéticos para Alimentação e Agricultura no Brasil. Essa demora implica no não reconhecimento das importantes contribuições que nossos agricultores tradicionais, indígenas ou não, à conservação e ao uso sustentável dos recursos fitogenéticos de interesse para a alimentação e a agricultura. Resulta também na implementação restrita do sistema multilateral de acesso facilitado, composto pelas coleções dos materiais mencionados no seu Anexo I, no qual se inclui a mandioca.

Assim, nos encontramos em uma fase de construção jurídica nacional e o debate acerca da conservação e uso da biodiversidade, bem como do marco legal que envolve as atividades de pesquisa deve permear as discussões acadêmicas nos próximos anos de forma a aprimorar os instrumentos ora utilizados.

Toda essa discussão, inclusive em outros países, não conseguiu gerar frutos acabados. Pouco países possuem legislação de acesso em vigor e destes, os casos de efetiva repartição de benefícios são insignificantes. É certo, que um grande número de países está construindo suas legislações nacionais sobre o tema, mas, tal como ocorre aqui, inexistem respostas para muitos dos temas propostos. Reconhecendo a dificuldade dos países em produzirem legislações nacionais efetivas, a VII Conferência das Partes propôs estudos sobre a formação de um regime internacional de repartição de benefícios, o qual deverá ser desenhado nos próximos anos.

Assim sendo, resta claro a necessidade de uma gestão criteriosa das novas determinações legais existentes, de forma a internalizar o arcabouço jurídico, bem como a modificação da cultura do pesquisador no tocante às ações de coleta, acesso e ao relacionamento com Comunidades Tradicionais. A complexidade da matéria exige, cada vez mais, o aperfeiçoamento e capacitação dos profissionais envolvidos na área. É necessário que os técnicos envolvidos tenham conhecimento dos procedimentos burocráticos pertinentes, referentes à obtenção de autorização para o acesso a recursos genéticos e conhecimento tradicional associado. Além disso, é importante que o técnico reconheça e respeite o direito de terceiros, a fim de evitar a inadvertida violação dos mesmos.

Referências

ABRACAVE. <http://www.abracave.com.br>. n. 10 de fevereiro de 2003: Associação Brasileira de Florestas Renováveis, 2007.

ABSY, M. L. A palynological study of holocene sediments in the Amazon basin. (1979). 86 f. Ph D Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, 1979.

_____. Palynology of Amazonia: The history of the forests as revealed by the palynological record. In: PRANCE, G. T. et al (Ed.). Key Environments: Amazonia. Oxford: Pergamon Press, 1985. Cap.82. p. 72.

_____. Quaternary changes of vegetation and climate in the Amazon basin. In: SALATI, E. et al (Ed.). Amazônia: um ecossistema em transformação. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia/CNPq, 2000. Cap.246. p. 235.

ABSY, M. L. et al. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60,000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Paris [S.I.], v. Série II, n. 312, p. 673, 1991.

_____. Registros palinológicos em sedimentos do holoceno e vegetação atual em Roraima. In: BARBOSA, R. I. et al (Ed.). Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1997. Cap.480. p. 463.

ADALBERTO, P. D. P. Brasil: Amazonas - Xingu. Belo Horizonte / São Paulo: Itatiaia / EDUSP, 1977.

ADAMS, J. M. et al. Increases in terrestrial carbon storage from the last glacial maximum to the present. Nature [S.I.], v. 348, p. 711, 1990.

ADDERLEY, W. P. et al. Modeling traditional manuring practice: Soil organic matter sustainability of an early shetland community. Human Ecology [S.I.], v. 28, n. 3, p. 415, 2000.

AGBLEVOR, F. A. et al. Inorganic compounds in biomass feedstocks: Their role in char formation and effect on the quality of fast pyrolysis oils. Proceedings Biomass Pyrolysis oil, Properties and Combustion Meeting. Estes Park, 1994. p. 77-89.

AHN, P. M. Some observations on basic and applied research in shifting cultivation. FAO Soils Bull [S.I.], v. 24, p. 123, 1974.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. Revista Brasileira de Ciência do Solo [S.I.], v. 27, p. 799-806, 2003.

ALEMANY, L. B. et al. Cross polarization and magic angle spinning NMR spectra of model organic compounds. Journal of the American Chemical Society [S.I.], v. 105, p. 2142-2147, 1983.

- ALENCAR, A. et al. Desmatamento na Amazônia: Indo Além da Emergência Crônica. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 2004.
- ALLAN, W. The African husbandman. New York: Barnes and Noble, 1965.
- ALMEIDA, F. G. A drenagem festonada e seu significado fotogeológico. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia* [S.I.], v. 28, n. 7, p. 175-197, 1974.
- ALMEIDA, M. R. Recuperação de alcatrão em fornos de alvenaria. Produção e utilização de carvão vegetal. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, 1982.
- ALMEIDA, S. S. et al. Evidências atuais do manejo e uso da terra na pré-história amazônica, Caxiuanã, Pará, Brasil: diferenças na diversidade, abundância e similaridade vegetais em florestas sobre terra preta antropológica (TPA) e Latossolo Amarelo. 2008. (Manuscrito em preparação).
- ALMENDROS, G. et al. Solid state NMR studies of fire-induced changes in the structure of humic substances. Amsterdam: Science of the Total Environment, 1992.
- _____. Rearrangement of carbon and nitrogen forms in peat after progressive isothermal heating as determined by solid-state ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopies. *Organic Geochemistry* Elmsford [S.I.], v. 34, p. 1559-1568, 2003.
- ALMENDROS, G.; LEAL, J. A. An evaluation of some oxidative degradation methods of humic substances applied to carbohydrate-derived humic-like polymers. *Journal of Soil Science* [S.I.], v. 41, n. 1, p. 51-59, 1990.
- ALMENDROS, G. et al. Effects of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain. *Geoderma* [S.I.], v. 42, p. 115-127, 1988.
- _____. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. In: *Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio*, Paris. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 1984. p. 154-160.
- ALTIERI, M. A. et al. Peasant agriculture and the conservation of crop and wild plant resources. *Conservation Biology* [S.I.], v. 1, n. 1, p. 49-58, 1987.
- ALVAREZ VENEGAS, V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C. et al (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.
- ALVES, J. A. L. Relações internacionais e temas sociais: a década das conferências. Brasília: IBRI, 2001.
- ANDERSON, E. Plants, man and life. Boston: Little & Brown, 1952.
- ANDRADE, A. Investigación arqueológica de los Antrosolos de Araracuara. *Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales* [S.I.], v. 31, p. 91, 1986.
- ANDRADE, E. B. Relatório da expedição para coleta de germoplasma de caiaué, *Elaeis oleifera* (HBK) Cortez, na Amazônia Brasileira. EMBRAPA/CPATU. Belém. 1983

- ANDRIESSE, J. P. Monitoring project of nutrient cycling in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in Asia. Royal Tropical Institute. Amsterdam, p.141. 1987. (Part I)
- ANDRIESSE, J. P.; KOOPMANS, T. A. Monitoring study on nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in tropical Ásia. *Agric. Ecosyst. Environ* [S.I.], v. 12, p. 1-16, 1984.
- ANONYMOUS. Soil analysis and the location of sites of ancient habitations. *The Geographical Review* [S.I.], v. 16, p. 512-513, 1941.
- ANTAL, M. J.; GRONLI, M. The art, science and technology of charcoal production. *Ind. Eng. Chem. Res.* [S.I.], v. 47, n. 7, p. 42, 2003.
- ANTAL, M. J. et al. Flash carbonization of biomass. *Ind. Eng. Chem. Res.* [S.I.], v. 42, n. 16, p. 3690-3699, 2003.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Aboveground litter dynamics in an ultra-fertile black earth soil in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* [S.I.], 2006.
- ARAUJO, S. D. O. Caracterização de ácidos húmicos produzidos a partir de carvão vegetal de *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifolium*. (2004). 62 f. Dissertação de mestrado - Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- ARNAUD, E. Mudanças entre os grupos indígenas Tupi da região do Tocantins-Xingu (Bacia Amazônica). *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi* [S.I.], p. 84, 1983.
- ARNELL, N. W. et al. The consequences of CO₂ stabilisation for the impacts of climate change. *Climatic Change* [S.I.], v. 53, n. 4, p. 413, 2002.
- ARRHENIUS, O. Die Phosphatmethode II. *Zeitschrift für pflanzenernährung, Düngung, und Bodenkunde Tiel A* [S.I.], v. 14, p. 185-194, 1929.
- _____. Fosfathalten i skånska jordar. *Sveriges geologiska undersonkning* [S.I.], v. 28, p. 1-30, 1934.
- _____. The iron age settlements of gotland and the nature of the soil. In: STENBERG, M.; KLINDT-JENSEN, O. (Ed.). *Vallhagan*. Copenhagen: Ejnar Munksgaards Forlag, 1955. p. 1053-1064.
- _____. Investigation of soil from old Indian sities. *Ethnos* [S.I.], v. 28, p. 122-136, 1963.
- ATRAN, S. *Cognitive foundations in natural history*. London: Cambridge University Press, 1990.
- ATROCH, A. L. Situação atual da cultura do guaraná no Estado do Amazonas. In: *Reunião Técnica da Cultura do Guaraná*, Manaus. Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.16.
- AVE-LALLEMANT, R. *No Rio Amazonas* (1859). Belo Horizonte / São Paulo: Itatiaia / EDUSP, 1980.
- BAGLIONI, P. et al. Bio-crude oil/Diesel oil emulsification. Main achievements of the emulsification process and preliminary tests on diesel engine. *Progresses in Thermochemical Biomass Conversion*. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 1525-1539.

BAIN, D. C. et al. X-ray fluorescence spectroscopy and microanalysis. In: WILSON, M. J. (Ed.). Clay mineralogy - spectroscopic and chemical determinative methods. London: Chapman & Hall, 1994. p. 260-299.

BAIN, R. L. An overview of biomass combined heat and power technologies. In: IEEE Power Engineering Society General Meeting. IEEE Power Engineering Society General 2004. p.1657-1659.

BALDOCK, J. A.; SMERNINK, R. J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 33, n. 1, p. 93-109, 2002.

BALÉE, W. The culture of Amazonian forest. In: POSEY, D. A.; BALEÉ, W. (Ed.). Resource management in Amazon: indigenous and flak strategies. New York: New York Botanical Garden, 1986. Cap.21. p. 1.

_____. Indigenous adaptation to Amazonian palm forest. *Principes* [S.I.], v. 32, p. 47-54, 1988.

_____. Nomenclatural patterns in Ká'apor ethnobotany. *Journal of Ethnobiology* [S.I.], v. 9, p. 1-24, 1989.

_____. Indigenous history and Amazonian biodiversity. In: STEEN, H. K.; TUCKE, R. P. (Ed.). Changing tropical forests: historical perspectives on today's challenges in central and south America. Durham: Forest History Society, 1992. Cap.197. p. 185.

_____. People of the fallow: a historical ecology of foraging in lowland South America. In: REDFORD, K. H.; PADOCH, C. (Ed.). Conservation of Neotropical Forest: Working from traditional resource use. New York: Columbia University Press, 1992. p. 35-57.

_____. Indigenous transformation of Amazonian forests: an example from Maranhão, Brazil. *L'Homme* [S.I.], v. 33, p. 231, 1993.

_____. Footprints of the forest: Ka'apor ethnobotany - The historical ecology of plant utilization by an Amazonian people. New York: Columbia University Press, 1994.

_____. Language, culture and encironment. Tupí-Guaraní plant names over time. In: ROOSEVELT, A. (Ed.). Amazonian indians. From prehistory to the present. Antropological perspectives. Tucson: The University of Arizona Press, 1994. p. 363-380.

_____. Historical ecology of Amazonia. In: SPONSEL, L. E. (Ed.). Indigenous Peoples and the Future of Amazonia: An ecological anthropology of an Endangered. Tucson: University of Arizona, 1995. p. 97-110.

_____. Historical ecology: premises and postulates. In: BALÉE, W. (Ed.). Advances in Historical Ecology. New York: Columbia University Press, 1998. Cap.29. p. 13.

_____. The research program of historical ecology. *Annual Review of Anthropology* [S.I.], v. 35, p. 75-98, 2006.

BARANČÍKOVÁ, G. et al. Chemical and spectroscopic characterization of humic acids isolated from different Slovak soil types. *Geoderma* [S.I.], v. 78, p. 251-266, 1997.

BARBA, L.; ORTIZ, A. Analisis quimico de pisos de ocupacion: Un caso etnografico en Tlaxcala, Mexico. *Latin American Antiquity* [S.I.], v. 3, n. 1, p. 63-82, 1992.

- BARBER, S. A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York: Wiley & Sons, 1995.
- BATES, H. W. Um naturalista no Rio Amazonas. Belo Horizonte / São Paulo: Itatiaia / EDUSP, 1979.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* [S.I.], v. 47, p. 151, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BECKERMAN, S. Swidden in Amazonia and the Amazon rim. In: TURNER II, B. L.; BRUSH, S. B. (Ed.). Comparative farming systems. New York: Guilford Press, 1987. Cap.94. p. 55.
- BECKMAN, E. H. et al. Distribuição vertical e horizontal de substâncias húmicas em Terra Preta de Índio, município Rio Preto da Eva, Amazonas. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife. 2005.
- BEGON, M. et al. Ecology: individuals, populations and communities. Boston: Blackwell Scientific Publication, 1990.
- BEHLING, H. First report on new evidence for the occurrence of Podocarpus and possible human presence at the mouth of the Amazon during the Late-glacial. *Vegetation History and Archaeobotany* [S.I.], v. 5, p. 241-246, 1996.
- _____. Late Quaternary environmental changes in the Lagoa da Curuçã region (eastern Amazonia, Brazil) and evidence of Podocarpus in the Amazon lowland. *Vegetation History Archaeobotany* [S.I.], v. 10, p. 175, 2001.
- BEHLING, H. et al. Late Quaternary pollen from the middle Caqueta river basin in central Colombian Amazon. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [S.I.], n. 145, p. 193-213, 1999.
- _____. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in northeastern Pará. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [S.I.], v. 167 (3-4), p. 225-242, 2001.
- BEHLING, H.; COSTA, M. L. Studies on Holocene Tropical Vegetation Mangrove and Coastal Environments in the State of Maranhão. *Journal Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* [S.I.], v. 10, p. 93-118, 1997.
- _____. Holocene environmental changes from the Rio Curuá record in the Caxiuanã region, eastern Amazon Basin. *Quaternary Research* [S.I.], v. 53, p. 369-377, 2000.
- _____. Holocene vegetational and coastal environmental changes from the Lago Crispim record in northeastern Pará State, eastern Amazonia. *Review of Palaeobotany and Palynology* [S.I.], v. 114, n. 3-4, p. 145-155, 2001.
- BEHLING, H.; HOOGHIESTR, H. Late Quaternary paleoecology and paleoclimatology from pollen records of the savannas of the Llanos Orientales in Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [S.I.], v. 139, p. 251-267, 1998.

- BEHLING, H. et al. Holocene environmental changes in the Central Amazon Basin inferred from Lago Calado Brazil. *Paleo* [S.I.], v. 173, p. 87-101, 2001.
- BEISIEGEL, W. D. R.; SOUZA, W. O. Reservas de fosfatos. Panorama nacional e mundial. In: III Encontro Nacional de Rocha Fosfática, 18/06/86, Brasília. Instituto Brasileiro de Fosfato (IBRAFOS), 1986. p.463.
- BELLAMY, P. H. et al. Carbon losses from all soil across England and Wales - 1978 - 2033. *Nature* [S.I.], p. 245, 2005.
- BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S. Considerações sobre o sistema de drenagem da Amazônia e sua relação com o arcabouço tetono-estrutural. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi* [S.I.], v. 3, p. 75-97, 1991.
- BENITES, V. M. et al. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. *Embrapa Solos*. Rio de Janeiro, p.7. 2003. (16)
- _____. Matéria orgânica do solo. In: WADT, P. G. S. (Ed.). *Manejo do solo e recomendação de adubação para o estado do Acre*. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. Cap.120. p. 93.
- _____. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma* [S.I.], v. 127, p. 104-113, 2005.
- _____. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [S.I.], v. 25, p. 661-674, 2001.
- BENNEMA, J. Soils. In: BENNEMA, J. (Ed.). *Ecophysiology of tropical crops*. New York: Academic Press, 1977. Cap.55. p. 29.
- BERGER, K. C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. *Industrial Engineer Chemistry* [S.I.], v. 11, p. 540-545, 1939.
- BERLIN, B. *Ethnobiological classification: principles of categorization of plants and animals in traditional societies*. Princeton: Princeton University Press, 1992.
- BERNOUX, M. et al. Carbon storage in biomass and soils. In: MCCLAIN, M. E. et al (Ed.). *In The biogeochemistry of the Amazon basin*. New York: Oxford University Press, 2001. p. 165-184.
- BERRIO, J. C. et al. Late Quaternary savanna history of the Colombian Llanos orientales from Lagunas Chenevo and Mozambique: a transect synthesis. *The Holocene* [S.I.], v. 12, p. 35, 2002.
- BIRD, I.; GRÖCKE, D. R. Determinatio of the abundance and carbon isotope composition of elemental carbon in sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [S.I.], v. 61, p. 3413-3423, 1997.
- BIRD, M. I. et al. Stability of elemental carbon in savanna soil. *Global Biogeochemical Cycles* [S.I.], v. 13, p. 923 - 932, 1999.
- BLANCKAERT, I. et al. Floristic composition, plant uses and management practices in homegardens of San Rafael Coxcatlán, Valley of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico. *Journal of Arid Environments* [S.I.], v. 57, p. 39-62, 2004.

- BOLLONG, C. A. et al. Direct dating and identity of fibre temper in pré-Contact Bushman (Basarwa) pottery. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 20, p. 41, 1993.
- BOROSON, M. L. et al. Product yield and kinetics from the vapour phase cracking of wood pyrolysis tars. *AIChE Journal* [S.I.], v. 35, n. 1, p. 120, 1989.
- _____. Heterogeneous cracking of wood pyrolysis tars over fresh wood char surfaces. *Energy & Fuels* [S.I.], v. 3, p. 735-740, 1989.
- BOTANY. http://www.botany.hawaii.edu/faculty/carr/phylo_sapind.htm. n. 31 de agosto de 2007: University of Hawaii at Manoa, 2007.
- BOTKIN, D. *Discordant harmonies: A new ecology for the twenty-first century*. New York: Oxford University Press, 1990.
- BOULET, R. et al. Une évaluation de la vitesse d'accumulation superficielle de matière par la faune du sol à partir de la datation des charbons et de l'humane du sol. Exemple des latosol des versants du lac Campestre, Slitre, Minas Gerais, Brésil. *C.R. Academic Science* [S.I.], v. 320, p. 278-294, 1995.
- BOWEN, H. J. M. *Trace elements in biochemistry*. New York: Academic Press, 1966.
- BRADY, N. C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1983.
- BRASIL. Lei nº 6.634, de 2 de maio de 1979. 3 maio 1979. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 6113.
- _____. Decreto nº 96.000, de 2 de maio de 1988. 3 maio 1988. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 7667.
- _____. Decreto nº 3.945, de 28 de setembro de 2001. 3 out. 2001. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 23.
- _____. Decreto Legislativo nº 2, de 3 de fevereiro de 1994. 4 fev. 1994. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. p. 1693.
- _____. Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993. 5 jan. 1993. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 57.
- _____. Lei nº 8.041, de 5 de junho de 1990. 6 jun. 1990. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 10763.
- _____. Decreto nº 5.459, de 7 de junho de 2005. 8 jun. 2005. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF.
- _____. Lei nº 8.183, de 11 de abril de 1991. 12 abr. 1991. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 6781.
- _____. Decreto Legislativo nº 70, de 18 de abril de 2006. 19 abr. 2006. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 3.
- _____. Decreto nº 76.623, de 17 de novembro de 1975. 19 nov. 1975. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 15450.

- _____. Medida Provisória nº 2.186-016, de 23 de agosto de 2001. 24 ago. 2001. Cap. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. p. 11.
- _____. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) [S.I.], p. 1-23, 1973 - 1983.
- _____. Primeiro relatório nacional para a Convenção sobre Diversidade Biológica. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Brasil. Brasília, DF, p.283. 1998
- _____. Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima, Ministério da Ciência e Tecnologia MCT, 2004.
- BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science [S.I.], v. 59, n. 1, p. 39-45, 1945.
- BRIDGWATER, A. V. et al. An overview of fast pyrolysis In: BRIDGWATER, A. V. (Ed.). Progress in thermochemical biomass conversion: Blackwell Sciences, 2001. p. 977-997.
- _____. An overview of fast pyrolysis of biomass. Organic Geochemistry [S.I.], v. 30, p. 1479-1493, 1999.
- BRIDGWATER, A. V.; PEACOCKE, G. V. C. (Eds.) Engineering developments in fast pyrolysis for bio-oils. Proceedings of biomass pyrolysis oil properties and combustion meeting: Estes Park Co., p.110-127, Proceedings of biomass pyrolysis oil properties and combustion meeting. 1994.
- BROIDO, A. Kinetics of Solid-phase Cellulose Pyrolysis. In: SHAFIZADEH, F. et al (Ed.). Thermal Uses and Properties of Carbohydrates and Lignins: Academic Press, 1976. p. 19-36.
- BROWN, C. B. Canoe and camp life in British Guiana. London: Edward Satanford, 1876.
- BROWN, C. B.; LIDSTONE, W. Fifteen thousand miles on the Amazon and its tributaries. London: Edward Stanford, 1878.
- BUEHRER, T. F. Chemical study of the material from several horizons of the ventana cave profile. In: HAURY, E. W. E. A. (Ed.). Stratigraphy and archaeology of ventana cave. Arizona: The University of Arizona Press, 1950. p. 549-563.
- BULLOCK, P. et al. Handbook for soil thin section description. Wolverhampton: Waine Research publications, 1985.
- BUOL, S. W. et al. Soil genesis and classification. Iowa State: University Press Ames, 1973.
- BUSCHBACHER, R. J. Changes in productivity and nutrient cycling following conversion of Amazon rainforest to pasture. (1984). 193 f. PhD Thesis, University of Georgia, Georgia, 1984.
- BUSH, M. B. Amazonian speciation: a necessarily complex model. Journal of Biogeography [S.I.], v. 21, p. 5, 1994.
- BUSH, M. B. et al. A 7.000-years pollen record from the Amazon lowlands, Ecuador. Vegetatio [S.I.], v. 76, p. 141, 1988.

- CAMARGO, F. C. Estudos de alguns perfis de solos cadastrados em diversas regiões da Hiléia. I(Inédito). Belém. 1941
- CAMPBELL, I. Biomass, catalyst and liquid fuels. Technomic Publishing Co. Inc, p.38. 1983
- CAMPBELL, K. F. et al. The feral forest of the Eastern Petén. In: BALLÉ, W.; ERICKSON, C. (Ed.). Time and complexity in historical ecology: studies in the neotropical lowlands. New York: Columbia University Press, 2006. Cap.55. p. 21.
- _____. The geology of the rio Beni: further evidence for Holocene flooding in Amazônia. Contribution in Science (Natural History Museum of Los Angeles County) [S.I.], n. 364, p. 1-18, 1985.
- CAPUTO, M. V. Solimões megashear: intraplate tectonics in northwestern Brazil. Geology [S.I.], v. 19, p.246-249, 1991.
- CARAZZA, F.; OKUMA, A. A. Alcatrão de Eucalyptus: fonte de aromas e sabores. In: XI Seminário de Carboquímicos, [2] Carazza F, Okuma AA. Alcatrão de Eucalyptus: fonte de aromas e sabores. Proceedings, XI Seminário de Carboquímicos. Santos, Brazil: Associação Brasileira de Metalurgia, 2000; 271-279, Santos, SP. Associação Brasileira de Metalurgia, 2000. p.271.
- CARNEIRO, R. L. The cultivation of manioc among the Kuikuru of the Upper Xingu. Adaptive responses of native Amazonians. In: HAMES, R. B.; VICKERS, W. T. (Ed.). Adaptive responses of Native Amazonians. New York: Academic Press, 1983. Cap.111. p. 65.
- CARTER, G. F. On soil color and time. Southwestern Journal of Anthropology [S.I.], v. 12, p. 295-324, 1956.
- _____. Pleistocene man at San Diego. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1957.
- CARVAJAL, G. Discovery of the Orellana River. In: HEATON, H. D. (Ed.). The discovery of the Amazon according to the account of friar gaspar de carvajal and other documents, with an introduction by José Toribio Medina. New York: American Geographical Society Publication, 1934. p. 167-242.
- CASTAGNOL, E. M. Méthode d'analyse du sol appliquée a la recherche des emplacements anciennement habités. Institut Indochinois pour l'Etude de l'Home, p.191-203. 1939
- CASTRO, E. B. V. D. Araweté: Os deuses canibais. Rio de Janeiro: ANPOCS, 1986.
- CASTRO, N. H. C. Cultura do guaranazeiro. Belém: Embrapa - CPATU, 1992.
- CAVALCANTE, P. B. Frutas comestíveis da Amazônia. Manaus, AM: INPA, 1976.
- CAVANAGH, W. G. et al. Soil Phosphaté, Site Boundaries, and Change Point Analysis. Journal of Field Archaeology [S.I.], v. 15, n. 1, 1988.
- CERRI, C. C. et al. Carbon stocks in soils of the Brazilian Amazon. In: LAL, R. et al (Ed.). Global climate change and tropical ecosystems. Advances in soil science. Boca Raton: CRC Press, 2000. Cap.50. p. 33.
- _____. Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. Forest Ecology and Management, 1991.

- CETEC. Produção e Utilização de Carvão Vegetal. Belo Horizonte: CETEC- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982. (Séries Técnicas CETEC).
- CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science* [S.I.], v. 84, p. 133-144, 1957.
- CHAPMAN, D. D. Methods of soil analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Total exchangeable*: Madison American Society of Agronomy, 1965. p. 902-905.
- CHEN, Z.; PAWLUK, S. Structural variations of humic acids in two sola of Alberta Mollisols. *Geoderma* [S.I.], v. 65, p. 173-193, 1995.
- CHIARAMONTI, D. et al. Developments of Emulsions from Biomass Pyrolysis Liquid and Diesel and their Use in Engines - Part 1. Emulsions Production. *Biomass & Bioenergy* [S.I.], v. 25, p. 85-99, 2003.
- CHONÉ, T. et al. Changes in organic matter in an oxisol from the Central Amazonian forest during eight years as pasture determined by ^{13}C isotopic composition. In: BERTHELIN, J. (Ed.). *Diversity of Environmental Biogeochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 1991. Cap.405. p. 397.
- CHRISTANTY, L. Shifting cultivation and tropical soils: patterns, problems, and possible improvements. In: MARTEN, G. G. (Ed.). *Traditional agriculture in southeast Asia: a human ecology perspective*. Boulder: Westview Press, 1986. Cap.240. p. 226.
- CHRISTENSEN, W. Jordens forforsyreindold som indikator for tidligere kultur og bebyggelse; en studie af rmitageslettens histore. Copenhagen: I kommission hos C A Retzels Forlag, 1935.
- CHULZE, D. et al. Maneging forests after Kyoto. *Science* [S.I.], v. 289, p. 2058-2059, 2000.
- CLARK, J. G. D. The mesolithic settlement of northern Europe. New York: Phoenix House, 1970.
- CLEARY, D. Towards an environmental history of the Amazon; from pre-history to the nineteenth century. *Latin American Research Review* [S.I.], v. 36, n. 2, p. 65-95, 2001.
- CLEMENT, C. R. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. II. Crop biogeography at contact. *Economic Botany* [S.I.], v. 53, n. 2, p. 203-216, 1999b.
- CLEMENT, C. R. et al. Origin and diffusion of Neotropical crops - interactions among linguistics, ethnobotany, archaeology and genetics. In: *International Symposium on Historical Linguistics in South America*, Belém. Livro de Resumos. Universidade Federal do Pará & Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005. p.63-64.
- _____. Agrobiodiversity in Amazonia and its relationships with Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths - origin, properties, and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publ, 2003. p. 159-178.
- CLEMENTS, F. E. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Washington: Carnegie Institute of Washington, 1916. (Publ. 212).
- COELHO, R. R. R. et al. Avaliação do crescimento de actinomicetos em substratos contendo subprodutos da carbonização vegetal visando à produção de ácidos húmicos. In: *V Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas*, Curitiba. SBSH, 2003. p.np.

COELHO, S. R. C. et al. Mineralogia e composição química dos fragmentos cerâmicos arqueológicos do sítio Manduquinha em Caxiuanã (Portel-PA). In: V Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. SBG, 1996. P.234.

COFFIN, D. E. A method for the determination of free iron in soils and clays. *Can. J. Soil Sci.*, 1963.

COLE, D. M. et al. Maintaining genetic resources of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth): The role of seed migration and swidden-fallow management in northeastern Peru. *Genetic Resources and Crop Evolution* [S.I.], v. 54, p. 189-204, 2007.

COLINVAUX, P. A. Pleistocene biogeography and diversity in tropical forests of South America. In: GOLDBLATT, P. (Ed.). *Biological relationships between Africa and South America*. New Haven: Yale University Press, 1993. Cap.499. p. 473.

COLINVAUX, P. A. et al. A paradigm to be discarded: Geological and paleoecological data falsify the Haffer & Prance refuge hypothesis of Amazonian speciation. *Amazoniana* [S.I.], v. 14, n. 3/4, p. 609, 2001.

_____. A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science* [S.I.], v. 274, p. 85, 1996.

CONRY, M. J. Plaggen soils: A review of man-made raised soils. *Soils & Fertilizers* [S.I.], v. 37, p. 319-326, 1974.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. <http://www.biodiv.org>. n. 11 de novembro de 20052005.

COOK, S. F.; HEIZER, R. F. Chemical analysis of the Hotchkiss Site (CC-128). University of California Archaeological Survey Report [S.I.], v. 57, p. 1-25, 1962.

_____. Studies on the chemical analysis of archaeological sites. Berkeley: University of California Press, 1965.

COOK, S. F.; TREGANZA, A. E. The quantitative investigation of aboriginal sites: Comparative physical and chemical analysis of two California indian mounds. *American Antiquity* [S.I.], v. 12, p. 135-141, 1947.

COOKE, I. J.; HISLOP, J. Use of anion-exchange resin for the assessment of available soil phosphate. *Soil Science* [S.I.], v. 96, n. 3, p. 308-312, 1963.

COPE, M. J.; CHALONER, W. G. Fossil charcoal as evidence of past atmospheric composition. *Nature* [S.I.], v. 283, p. 647-649, 1980.

CORDEIRO, I. M. C. Performance diferencial de crescimento da espécie *Schizolobium amazonicum* Huber (Ducke) em sítios degradados sob diferentes regimes de preparação de área na microregião do Guamá, Aurora do Pará. (1999). 50 f. Monografia de Especialização - Núcleo de altos estudos amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 1999.

CORNWALL, I. W. *Soils for the archaeologist*. London: Phoenix House, 1958.

_____. Soil investigations in the service of archaeology. In: HEIZER, R. F.; COOK, S. F. (Ed.). *The application of quantitative methods in archaeology*, 1960. Cap.299. p. 265.

- CORREA, C. G. Horticultores pré-históricos do litoral do Pará. *Revista de Arqueologia* [S.I.], v. 4, p. 137, 1987.
- COSTA, F. S. et al. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto. *Ciência Rural* [S.I.], v. 34, n. 1, p. 281-284, 2004.
- COSTA, J. A. Caracterização dos sítios arqueológicos com terra preta de caxiuanã. MCT/MPEG. Belém, Pará, p.15. 2003
- COSTA, J. B. S. et al. Neotectônica da região Amazônica : aspectos estruturais, tectônicos, geomorfológicos e estratigráficos. *Geonomos* [S.I.], v. 4, p. 23-44, 1996.
- _____. Arcabouço tectônico Mesozóico-Cenozóico da região da calha do Rio Amazonas. *Geociências* [S.I.], v. 2, p. 77-103, 1995.
- COSTA, M. L. Mineralogia, geoquímica gênese e epigênese dos fosfatos lateríticos de Jandía. *Geochimica Brasiliensis* [S.I.], v. 4, n. 1, p. 85, 1990.
- _____. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências* [S.I.], v. 21, p. 146-160, 1991.
- _____. Lateritisation as a major process of ore deposit formation in the Amazon region. *Explor. Min. Geol* [S.I.], v. 6, n. 1, p. 79, 1997.
- COSTA, M. L.; COSTA, W. A. M. Os fosfatos do Acre. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. 1988. 1v. p.242-256.
- COSTA, M. L. et al. Exploração geoquímica para fosfatos no Estado do Acre. In: II Congresso Brasileiro de Geoquímica, Rio de Janeiro. 1989. p.29-37.
- _____. Jarina: o marfim vegetal das jóias amazônicas. Manuscrito. Belém, p.84. 2006
- COSTA, M. L.; KERN, D. C. Geoquímica aplicada à arqueologia (Arqueogeoquímica da Amazônia). In: V Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. SBG, 1994. p.261.
- _____. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon. *Journal of Geochemical Exploration* [S.I.], v. 66, n. 1/2, p. 369, 1999.
- COSTA, M. L. et al. A geologia da região de Caxiuanã na Amazônia Oriental. In: LISBOA, P. (Ed.). Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002. Cap.205. p. 179.
- _____. Pedogeochemical and mineralogical analyses of Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). Amazonian Dark Earths: origin, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.352. p. 333.
- _____. Geochemical contribution to archaeological ceramics of Cachoeira-Porteira (Oriximiná-PA). *International Symposium on the Quaternary of Amazonia*, 1993.
- _____. Mineralogia de artefatos cerâmicos de sítio arqueológico com Terra Preta no baixo Amazonas. In: XI Congresso de Arqueologia, Rio de Janeiro. SAB, 2001. P.65.

- _____. The ceramic artifacts in Archeological Black Earth. Explorations [S.I.], v. 66, n. 1/2, p. 369, 2004.
- _____. The ceramic artifacts in archaeological black earth (Terra Preta) from lower Amazon region, Brazil. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 34, n. 2, p. 165, 2004.
- _____. A mineralogia e a geoquímica na cerâmica arqueológica de Oriximiná, PA. *Proceedings of the 3rd Brazilian Geochemical Congress*. São Paulo: SBGq, 1991. Cap.3. p. 1.
- _____. Os sedimentos de fundo da Baía de Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Ed.). Caxiuanã. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1997. p. 121-137.
- _____. Jarina: o marfim das biojóias da Amazônia. *Revista da Escola de Minas* [S.I.], v. 59, n. 4, p. 367-371, 2006.
- COUDREAU, H. Viagem ao Xingu. Belo Horizonte / São Paulo: Itatiaia/ EDUSP, 1977a.
- _____. Viagem ao Tapajós. Belo Horizonte / São Paulo: Itatiaia/ EDUSP, 1977b.
- _____. Viagem à Itaboca e Itacaiúnas. Belo Horizonte / São Paulo: Itatiaia/ EDUSP, 1980.
- COURTY, M.-A. et al. Soils and micromorphology in archaeology. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- COX, P. M. et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* [S.I.], v. 408, p. 184, 2000.
- _____. Amazonian dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology* [S.I.], v. 78, p. 137, 2004.
- CRAVO, M. S. Programa de pesquisa com a cultura do guaraná da Embrapa Amazônia Ocidental^{1a} Reunião Técnica da Cultura do Guaraná. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p. 42.
- CRAVO, M. S. et al. Exportação de nutrientes pela colheita do guaraná. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999. (Pesquisa em andamento).
- CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [S.I.], v. 21, p. 607-616, 1997.
- CRAWFORD, D. L.; GUPTA, R. K. I. Microbial depolymerization of coal. In: CRAWFORD, D. L. (Ed.). *Microbial transformations of low-rank coals*. London, 1993. p. 65-92.
- CRONQUIST, A. The evolution and classification of flowering plants. 2. ed. New York: The New York Botanical Garden, 1988.
- CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* [S.I.], v. 250, p. 1669-1678, 1990.
- CRUXENT, J. M. Phosphorus content of the Texas street "hearts". *American Antiquity* [S.I.], v. 28, p. 90-91, 1962.
- CUNHA, E. À Margem da História. 6. ed. São Paulo: Livraria Lello & Irmão, 1946.

- CUNHA FRANCO, E. As terras pretas do planalto de Santarém. *Revista da Sociedade dos Agrônomo e Veterinarios do Pará [S.I.]*, v. 8, p. 17, 1962.
- CUNHA, M. C. (Ed.) *História dos Índios no Brasil*. São Paulo: Companhia das Letras da Secretaria Municipal da Cultura de São Paulo, p.609ed. 1992.
- CUNHA, T. J. F. Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra Preta de Índio). (2005). 118 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amanzônia(Terra Preta). *Acta Amazônica [S.I.]*, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.
- _____. Carbono pirogênico. In: TEIXEIRA, W. G. et al (Ed.). *As Terras Pretas de Índio: caracterização e Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental*, 2007.
- CUNNINGHAM, R. H. The effect of clearing a tropical forest soil. *Journal of Soil Science [S.I.]*, v. 14, p. 334, 1963.
- CURI, N. et al. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 71-92.
- CZIMCZIK, C. I. et al. Effects of charring on mass, organic carbon, and stable carbon isotope composition of wood. *Organic Geochemistry [S.I.]*, v. 33, p. 1207-1223, 2002.
- _____. How surface fire in Siberian Scots pine forest affects soil organic carbon in the forest floor: stocks, molecular structure, and conversion to black carbon (charcoal). *Global Biogeochemical Cycles [S.I.]*, v. 17, n. 20, p. 1-14, 2003.
- D'ANTONI, H. L.; SCHÄBITZ, F. Remote sensing and Holocene vegetation: History of Global Change. *World Resource Review [S.I.]*, v. 7, n. 2, p. 282, 1995.
- D'ANTONI, H. L.; SPANNER, M. Remote sensing and modern pollen dispersal in southern Patagonia and Tierra del Fuego (Argentina): models for palaeoecology. *Grana [S.I.]*, v. 32, p. 29, 1993.
- DABROWSKI, A. et al. Adsorption of phenolic compounds by activated carbon - A critical review. *Chemosphere [S.I.]*, v. 58, n. 8, p. 1049-1070, 2005.
- DALLAL, R. Soil organic phosphorus. *Advance in Agronomy [S.I.]*, v. 29, p. 83-117, 1977.
- DAUNCEY, K. D. M. Phosphate content of soils on archaeological sites. The advancement of science [S.I.], v. 9, p. 3, 1952.
- DAVIDSON, E. A. et al. Effects of an experimental draught on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. *Global Change Biology [S.I.]*, v. 10, p. 718-730, 2004.
- DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature [S.I.]*, v. 440, p. 165, 2006.
- DEETZ, J.; DETHLEFSEN, E. Soil pH as a tool archaeological site interpretation. *American Atiquity [S.I.]*, v. 29, p. 242-243, 1963.

- DEMATTE, J. L. I. Manejos de solos ácidos dos trópicos úmidos - Região Amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 1988. p. 215.
- DENEVAN, W. The aboriginal population of Amazonia. In: DENEVAN, W.; MELLO, J. N. (Ed.). The native population of the Americas in 1492. Madison: University of Wisconsin Press, 1992. p. 205-234.
- _____. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers* [S.I.], v. 86, p. 654-681, 1996.
- _____. Comments on prehistoric agriculture in Amazônia. *Culture & Agriculture* [S.I.], v. 20, n. 2-3, p. 54-59, 1998.
- _____. Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- _____. Pre-European forest cultivation in Amazonia. In: BALÉE, W.; ERICKSON, C. L. (Ed.). *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies from the Neotropical Lowlands*. New York: Columbia University Press, 2006. Cap.163. p. 153.
- DENEVAN, W. M. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers* [S.I.], v. 86, p. 654-681, 1996.
- _____. Semi-intensive pre-European cultivation and the origins of Anthropogenic Dark Earths in Amazonia. In: GLASER, B. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time*. Berlin: Springer, 2004. p. 135-143.
- DENICH, M.; KANASHIRO, M. Secondary vegetation in the agricultural landscape of North-Eastern Para, Brazil. In: PARROTTA, J. A.; KANASHIRO, M. (Ed.). *Management and rehabilitation of degraded lands and secondary forests in Amazonia*. Rio Piedras, Puerto Rico: International Institute of Tropical Forestry, 1995. p. 12-21.
- DERBY, O. A. O Rio Trombetas. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi* [S.I.], v. Trabalhos restantes inéditos da comissão geológica do Brasil - 1875 - 1878 - Relativos à geologia física do baixo Amazonas, n. 1-2, p. 1897, 1898.
- DERENNE, S.; LARGEAU, C. A review of some important families of refractory macromolecules: composition, origin, and fate in soils and sediment. *Soil Science* [S.I.], v. 166, p. 833-847, 2001.
- DESCOLA, P. In the society of nature: a native ecology in Amazonia. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- DEWALT, B. R. Using indigenous knowledge to improve agriculture and natural resource management. *Human Organization* [S.I.], v. 53, n. 2, p. 123-131, 1993.
- DICK, D. P. et al. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. *Geoderma* [S.I.], v. 124, n. 3-4, p. 319-333, 2005.
- DIEBOLD, J. P. Review of the chemical and physical mechanisms of the storage stability of fast pyrolysis bio-oils. CPL Press, 2000. (Fast pyrolysis of biomass: A Handbook).
- DIEBOLD, J. P.; CZERNIK, S. Additives to Lower and Stabilize the Viscosity of Pyrolysis Oils during Storage. *Energy & Fuels* [S.I.], v. 11, p. 1081-1091, 1997.

DIEGUES, A. C. Biodiversidade e comunidades tradicionais no Brasil. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, COBIO - Coordenadoria da Biodiversidade & NUPAUB - Núcleo de Pesquisas sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras, 2000.

DIETZ, E. F. Phosphorus accumulation in soil of an Indian habitation site. *American Antiquity* [S.I.], v. 22, n. 4, p. 405-409, 1957.

DOWMAN, E. A. Conservation in field archaeology. London: Methuen and Company, 1970.

DRIESSEN, P. M. et al. The influence of shifting cultivation on a "podzolic" soil from Central Kalimantan Peat and Podzolic Soils and their Potencial for Agriculture in Indonesia: Soil Research Institute, 1976. p. 95-115.

DRUFFEL, E. R. M. Comments on the importance of black carbon in the global carbon cycle. *Mar. Chem.* [S.I.], v. 92, p. 197-200, 2004.

DU, H. G. et al. Effect of the mixture of charcoal with pyroligneous acid on shoot and root growth of sweet potato. *Japanese Journal of Crop Science* [S.I.], v. 67, n. 2, p. 149-152, 1998.

DUMA, G. Phosphate content of ancient pots as indication of use. *Current Anthropology* [S.I.], v. 13, p. 127-130, 1972.

EDDY, F. W.; DREGNE, H. E. Soil tests on alluvial and archaeological deposits Navajo reservoir district. *El Palacio* [S.I.], v. 71, p. 5-21, 1964.

EDEN, M. J. et al. Terra Preta soils and their archaeological context in the Caquetá basin of south-east Colombia. *American Antiquity* [S.I.], v. 49, n. 1, p. 125-140, 1984.

EIDT, R. C. Advances in abandoned settlement analysis: application to prehistoric anthrosols in Colombia, South America. Milwaukee: University of Wisconsin, 1984. (The Center for Latin America).

_____. Detection and examination of anthrosols by phosphate analysis. *Science* [S.I.], v. 197, p. 1327-1333, 1997.

EIRAS, J. F. et al. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências* [S.I.], v. 8, n. 1, p. 17-45, 1994.

ELIAS, V. O. Evaluating Levoglucan as an indicator of biomass burning in Carajas, Amazonia: a comparison to the charcoal record. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 65, p. 267, 2001.

ELLEN, R. The cultural relations of classification: An analysis of Nuauulu animal categories from central Seram. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

ELLIOT, D. C.; BAKER, E. Hydrotreating Biomass Liquids to Produce Hydrogen Fuels. In: KLASS, D. X. (Ed.). *Energy from Biomass and Wastes*: IGT Chicago, 1987. p. 765-784.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 1997.

_____. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: SPI/Embrapa Produção de Informação, 1999. p. 412.

- _____. Reunião Técnica da Cultura do Guaraná. 1. ed. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001.
- ENTWISTLE, J. A. et al. Multi-element analysis of soils from scottish historical sites. Interpreting land-use history through the physical and geochemical analysis of soil. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 25, p. 53-68, 1998.
- _____. The geoarchaeological significance and spatial variability of a range of physical and chemical soil properties from a former habitation site, isle of skye. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 27, p. 287-303, 2000.
- ERDTMAN, G. The acetolysis method in a revised description. *Svensk Bot. Tidskr. Lund* [S.I.], v. 54, n. 4, p. 561, 1960.
- ERICKSON, C. An artificial landscape-scale fishery in the Bolivian Amazon. *Nature* [S.I.], v. 408, p. 190, 2000.
- _____. Historical ecology and future explorations. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths - origin, properties, and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publication, 2003. Cap.500. p. 455.
- _____. The domesticated landscapes of the Bolivian Amazon. In: BALÉE, W.; ERICKSON, C. (Ed.). *Time and complexity in historical ecology: Studies in the neotropical lowlands*. New York: Columbia Univ. Press, 2006. p. 235-278.
- ERICKSON, C. L. Archaeological methods for the study of ancient landscapes of the Llanos de Mojos in the Bolivian Amazon. In: STAHL, P. W. (Ed.). *Archaeology in the lowland American tropics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 66-95.
- ERICKSON, C. L.; BALÉE, W. The historical ecology of a complex landscape in Bolivia. In: BALEÉ, W.; ERICKSON, C. L. (Ed.). *Time and complexity in historical ecology: studies in the neotropical lowlands*. New York: Columbia University Press, 2006. Cap.233. p. 187.
- EVANS, R. et al. Hydrogen from biomass-catalytic reforming of pyrolysis vapors. *National Renewable Energy Laboratory*, p.np. 2003
- EVANS, R. J.; MILNE, T. A. Molecular characterization of the pyrolysis of biomass. I Fundamentals. *Energy & Fuels* [S.I.], v. 1, n. 2, p. 123-137, 1987.
- FAEGRI, K.; IVERSEN, J. *Textbook of pollen analysis*. Copenhagen: Munksgaard, 1966.
- FAGERNAS, L. Chemical and physical characterization of biomass-based pyrolysis oils. *VTT Research Notes* [S.I.], p. 1706, 1995.
- FALCÃO, N. P. et al. Determining nutrient bioavailability of Amazonian Dark Earth soils; methodological challenges. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths; origin, properties, managements*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 255-270.
- FALCÃO, N. P.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 34, p. 337-342, 2004.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawái (*Carica papaya* L.). *Acta Amazônica* [S.I.], v. 36, p. 401-406, 2006.

FALCÃO, N. P. S. et al. Determining nutrient bioavailability of Amazonian Dark Earth soils - methodological challenges. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: Origins, properties, management*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 255-270.

FALESI, I. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. In: I Simpósio Sobre a Biota Amazônica, Belém, PA. Atas. H. Lent/CNPq, 1967. p.15.

_____. Solos de Monte Alegre. Belém: IPEAN, 1970. (Séries Solos da Amazônia).

_____. Soils of Brazilian Amazon. In: WAGLEY, C. (Ed.). *Man in the Amazon*. Gainesville: University Presses of Florida, 1974. Cap.29. p. 201.

FALESI, I. C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. p.17-67. 1972

FAO. <http://www.fao.org>. n. 11 de novembro de 20052005.

FARABEE, W. C. Exploration at the ,outh of the Amazon. *The Museum Journal* [S.I.], v. 12, p. 142, 1921.

FARIA, J. B. A cerâmica da tribo Uaboí dos rio Trombetas e Jamundá. In: CNPI (Ed.). *Conselho Nacional de Proteção ao Índio*, 1946. Cap.42. p. 5.

FARMER, V. C. *The infrared spectra of minerals*. Mineralogical Society. London, 1974.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. *Química de suelos, con énfases en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica: IICA, 1994.

FEARNSIDE, P. M. The effects of cattle pasture on soil fertility in the Brazilian Amazon: Consequences for beef production sustainability. *Tropical Ecology* [S.I.], v. 21, n. 1, p. 125, 1980.

_____. Initial soil quality conditions on the Transamazon Highway of Brazil and their simulation in models for estimating human carrying capacity. *Tropical Ecology* [S.I.], v. 25, n. 1, p. 1-21, 1984.

_____. *Human carrying capacity of the Brazilian rainforest*. New York: Columbia University Press, 1986.

_____. *Ocupação humana de Rondônia: impactos, limites e planejamento*. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), 1989. (Relatórios de Pesquisa, n.5).

_____. Agroforestry in Brazil's Amazonian development policy: the role and limits of a potential use for degraded lands. In: CLÜSENER-GODT, M.; SACHS, I. (Ed.). *Brazilian Perspectives on Sustainable Development of the Amazon Region*. Carnforth: Parthenon Publishing Group, 1995. Cap.148. p. 125.

_____. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia. Net committed emissions climatic change [S.I.], v. 35, n. 3, p. 321, 1997.

_____. Phosphorus and human carrying capacity in Brazilian Amazonia. In: LYNCH, J. P.; DEIKMAN, J. (Ed.). Phosphorus in plant biology: regulatory roles in molecular, cellular, organismic, and ecosystem processes. Maryland: American Society of Plant Physiologists, 1998. Cap.108. p. 94.

_____. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. Climatic Change [S.I.], v. 46, n. 1-2, p. 115, 2000.

_____. Efeitos de uso de terra e manejo florestal no ciclo de carbono na Amazônia brasileira. In: FLEISCHRESSER, V. (Ed.). Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001. Cap.196. p. 173.

_____. Can pasture intensification discourage deforestation in the Amazon and Pantanal regions of Brazil? In: WOOD, C. H.; PORRO, R. (Ed.). Deforestation and land use in the Amazon. Gainesville: University Press of Florida, 2002. Cap.364. p. 283.

_____. Emissões de gases de efeito estufa oriundas da mudança do uso da terra na Amazônia brasileira. A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Manaus: INPA, 2003. Cap.68. p. 45.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management [S.I.], v. 108, n. 1-2, p. 147, 1998.

FEARNSIDE, P. M. et al. Tropical forest burning in Brazilian Amazônia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. For. Ecology and Management [S.I.], v. 123, p. 65-79, 1999.

_____. Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. Forest Ecology and Management [S.I.], v. 146, p. 115-128, 2001.

_____. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. J. Geophys. Res. [S.I.], v. 98, p. 16733, 1993.

FEDERAÇÃO EUROPÉIA DE BIOTECNOLOGIA - EFB. Biodiversidade: o impacto da biotecnologia. p.np. 2001

FEIJÓ, F. J.; SOUZA, G. D. Bacia do Acre. Boletim de Geociências [S.I.], v. 8, n. 1, p. 9-16, 1994.

FERNANDES, L. A. et al. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira [S.I.], v. 37, p. 373-383, 2002.

FERNÁNDEZ, F. G. et al. An ethnoarchaeological study of chemical residues in the floors and soils of Q'eqchi' Maya Houses at Las Pozas, Guatemala. Geoarchaeology [S.I.], v. 17, n. 6, p. 487-519, 2002.

FERREIRA, A. R. Viagem filosófica ao Rio Negro. Museu Paraense Emílio Goeldi, 1983. (Publicação Avulsa).

FITZPATRICK, E. A. Soil microscopy and micromorphology. New York: John Wiley & Sons, 1993.

FLOWER, B. P. Warming without high CO₂? Nature [S.I.], v. 399, p. 313, 1999.

- FÖLSTER, H. Nutrient loss during forest clearing. In: LAL, R. et al (Ed.). Land Clearing and Development in the Tropics. Rotterdam: A.A. Balkema, 1986. p. 241-256.
- FONTENO, W. C. Growing media: types and physical/chemical properties. In: REED, D. W. (Ed.). A Growers Guide to Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops. Batavia: Ball, 1996. p. 93-122.
- FRAPS, G. S. Commercial fertilizers in 1905-1906. Brazos: Texas Agricultural Experiment Station, 1906.
- FREESTONE, I. et al. Retention of phosphate in buried ceramics electron microbeam approach. *Archaeometry* [S.I.], v. 27, p. 161-177, 1985.
- FREESTONE, I.; MIDDLETON, A. Mineralogical applications of the analytical SEM in archaeology. *Mineralogical Magazine* [S.I.], v. 51, p. 21-31, 1987.
- FREESTONE, I. et al. Significance of phosphate in ceramic bodies. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 21, p. 425-426, 1994.
- FREIXO, A. A. et al. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve-livre intra-agregado de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [S.I.], v. 26, p. 445-453, 2002.
- FRITTS, T. H.; RODDER, G. H. The role of introduced species in the degradation of island ecosystems: a case history of Guam. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* [S.I.], v. 35, p. 149, 1998.
- FURBEE, L. A folk expert system: Soils classification in the Colca valley. *Anthropological Quarterly* [S.I.], v. 62, n. 2, p. 83-101, 1989.
- GEHRING, C. O papel da fixação biológica de nitrogênio em floresta secundária e primária da Amazônia Central. (2003). 170 f. PhD Thesis, Boon Universitāt, Boon, Belgium, 2003.
- GERMAN, L. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. *Geoderma* [S.I.], n. 111, p. 307-331, 2003.
- _____. A geographical method for Anthrosol characterization in Amazonia: contribution to method and human ecological theory. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonian dark earths: explorations in space and time*. Berlin: Springer, 2004. Cap.51. p. 29.
- GERMAN, L. A. The dynamics of terra preta: an integrated study of human-environmental interaction in a nutrient-poor Amazonian ecosystem. (2001). 313 f. PhD Thesis, University of Georgia, Athens, GA, USA, 2001.
- _____. Ethnoscience of Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: Origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.201. p. 179.
- _____. Ecological praxis and blackwater ecosystems: A case study from the Brazilian Amazon. *Human Ecology* [S.I.], v. 32, n. 6, p. 653-683, 2004.
- GIARDINA, C. P. et al. Primary production and carbon allocation in relation to nutrient supply in a tropical experimental forest. *Global Change Biology* [S.I.], v. 9, p. 1438-1450, 2003.

_____. The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil* [S.I.], v. 220, p. 247-260, 2000.

GLASER, B. Eigenschaften und Stabilität des Humuskörpers der Indiasner Schwarzerden Amazoniens. *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*, 1999.

GLASER, B.; AMELUNG, W. Pyrogenic carbon in native grassland soils along a climosequence in North America. *Global Biogeochem. Cy.* [S.I.], v. 17, p. 1064, 2003.

GLASER, B. et al. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 31, p. 669-678, 2000.

_____. Burning residues as conditioner to sustainably improve fertility in highly weathered soils of the Brazilian Amazon region. In: *Brithish Soil Science Society Conference, Edinburgh. Brithish Soil Science Society*, 1999. p.1-5.

_____. Persistence of soil organic matter in archaeological soils (Terra Preta) of the Brazilian Amazon region. In: REES, R.; AL, E. (Ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. Wallingford: CAB International, 2000. p. 190-194.

_____. Soil organic matter stability in Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths: Origins, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 141-158.

_____. Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 29, p. 811-819, 1998.

_____. The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* [S.I.], v. 88, n. 1, p. 37-41, 2001.

_____. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal - a review. *Biol. Fertil. Soils* [S.I.], v. 35, p. 219-230, 2002.

GLASER, B.; WOODS, W. I. (Eds.) *Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time*. Berlin: Springer, 2004.

GLASER, B. et al. History, current knowledge and future perspectives of geocological research concerning the origin of Amazonian anthropogenic Dark Earths (Terra Preta). In: GLASER, B. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time*. New York: Springer, 2004. p. 9-17.

GLOWKA, L. A guide to designing legal frameworks. Gland, Switzerland: IUCN - The World Conservation Union, 1998. (Environmental Policy and Law Paper, 34).

_____. A guide to undertaking biodiversity legal and institutional profiles. Gland: The World Conservation Union, 1998. (Environmental Policy and Law Paper, v.35).

GOLCHIN, A. et al. The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter in a volcanic ash soil as shown by ^{13}C NMR spectroscopy: I whole soil and humic acid fraction. *Geoderma* [S.I.], v. 76, p. 155-174, 1997.

GOLDAMMER, J. G. Historical Biogeography of Fire: Tropical and Subtropical. In: CRUTZEN, P. J.; GOLDAMMER, J. G. (Ed.). *Fire in the Environment: The Ecological Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires*: John Wiley & Sons Ltd, 1993. p. 297-314.

GOLDBERG, E. D. *Black carbon in the environment: properties and distribution*. New York: John Wiley & Sons, 1985.

GOLLIN, M. Legal and practical consequences of biopiracy. *Diversity* [S.I.], v. 15, n. 2, p. 7, 1999.

GOMES, D. Symbolism and power in the tropical forest. In: MCEWAN, C. et al (Ed.). *The British Museum Press. London: Unknown Amazon*, 2001. p. 134-155.

GOMES, D. M. C. *Cerâmica arqueológica da Amazônia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; Fapesp; Imprensa Oficial do Estado, 2002. (Vasilhas da Coleção Tapajônica MAE-USP).

GONDIM, C. J. E. Alguns aspectos da biologia reprodutiva do guaraná. (1978). 83 f. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 1978.

GONZÁLES-PÉREZ, J. A. et al. The effect of fire on soil organic matter - a review. *Environment International* [S.I.], v. 30, p. 855-870, 2004.

_____. Wildfire and black carbon in Andalusian Mediterranean forest. In: VIEGAS, D. X. (Ed.). *Forest fire research and wildland fire safety*. Rotterdam: Millpress, 2002.

GONZÁLES-VILA, F. J. et al. Nature of refractory forms of organic carbon in soils affected by fires. Pyrolytic and spectroscopic approaches. In: VIEGAS, D. X. (Ed.). *Forest fire research and wildland fire safety*. Rotterdam: Millpress, 2002.

GOULDING, M. et al. *The Smithsonian Atlas of the Amazon*. Smithsonian Institution, 2003.

GOUROU, P. L'Amazonie, Problèmes géographiques. *Les Cahiers d'Outre-Meer* [S.I.], v. 5, p. 1, 1949.

_____. Observações geográficas na Amazônia. *Revista Brasileira de Geologia* [S.I.], v. 2, p. 171, 1950.

GOUVEIA, S. E. M. et al. Datação da fração humina da matéria orgânica do solo e sua comparação com idades C-14 de carvões fósseis. *Química Nova* [S.I.], v. 22, n. 6, p. 810-814, 1999.

GRAÇA, P. M. L. A. et al. Burning of Amazonian Forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management* [S.I.], v. 120, p. 179-191, 1999.

GRAY, J. Palynological techniques. In: KUMMEL, B.; RAUP, D. (Ed.). *Handbook of paleontological techniques*. San Francisco and London: W.H. Freeman Co., 1965. Cap. 481. p. 471.

GREENLAND, D. J.; NYE, P. H. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *Journal of Soil Science* [S.I.], v. 10, p. 284-299, 1959.

GRIFFIN, J. J.; GOLDBERG, E. D. The fluxes of elemental carbon in coastal marine sediments *Limnology and Oceanography*. Seattle [S.I.], v. 20, p. 456-463, 1975.

- _____. Morphologies and origin of elemental carbon in the environment. *Science* [S.I.], v. 206, p. 563-565, 1979.
- GROSH, H. Rekonstruktion von besiedlungsmuster und-intensität einer Terra Preta in zentralamazonien anhand der keleinräumigen Bährstoeferverteilung. Bayreuth, 2005.
- GUIX, J. C. Aspectos da frugivoria, disseminação e predação de sementes por vertebrados nas florestas nativas do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. (1996). - Col.lecció de Tesis Doctorals Microfitxades, Universitat de Barcelona, Barcelona, 1996.
- _____. Evidence of old anthropic effects in forests at the confluence of the Caurés and Negro rivers - NW Amazonia: the role of indians and caboclos. *Série Documentos* [S.I.], v. 8, n. 1, p. 1-27, 2005.
- _____. Evidence of archaeophytes in Amazonian forests: an assessment to seed dispersal by Indians in pre-Columbian times. In: RABISTCH, W. et al (Ed.). 4th European Conference on Biological Invasions: from ecology to conservation. Bonn: NEOBIOTA, Bundesamt für Naturschutz, 2006. p. 140.
- GUPPY, C. N. et al. A simplified sequential phosphorus fractionation method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [S.I.], v. 31, p. 1981-1991, 2000.
- GUSTAFSSON, O. et al. Evaluation of a protocol for the quantification of black carbon in sediments. *Global Biogeochemical Cycles* [S.I.], v. 15, p. 881-890, 2002.
- GUSTALSSON, O.; GSCHWEND, P. M. The flux of black carbon to surface sediments on the New England continental shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [S.I.], v. 62, p. 465-472, 1998.
- GUTIERREZ, L. T.; WILLARD, R. F. Ecosystem succession: a general hypothesis and a test model of a grassland. Cambridge: MIT Press, 1980.
- GUYAN, W. U. Beitrag zur topographischen Lokalisation einer Wuestlegung mit der Laktatmethode am Beispiel von Mogern. *Geographica Helvetica* [S.I.], v. 1, p. 1 - 9, 1952.
- HABERLE, S. G.; MASLIN, M. Late Quaternary vegetation and climate history of the Amazon Basin based on a 50,000-years pollen record from the Amazon Fan. *Quaternary Research* [S.I.], v. 51, p. 27-38, 1999.
- HAFFER, J. Speciation in Amazonian forest birds. *Science* [S.I.], v. 165, p. 31, 1969.
- HAFFER, J.; PRANCE, G. T. Climatic forcing of evolution in Amazonia during the Cenozoic: On the refuge theory of biotic differentiation. *Amazoniana* [S.I.], v. 14, n. 3/4, p. 579, 2001.
- HALLWACHS, W. Agoutis (*Dasyprocta punctata*): The inheritors of guapinol (*Hymenaea courbaril*: Leguminosae). In: ESTRADA, A. et al (Ed.). *Frugivores and seed dispersal*. Dordrecht: W. Junk Publishers, 1986. p. 285-304.
- HAMER, U. et al. Interactive priming of black carbon and glucose mineralization. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 35, p. 823-830, 2004.
- HARE, B.; MEINSHAUSEN, M. How much warming are we committed to and how much can be avoided? *Climatic Change* [S.I.], v. 75, p. 111, 2006.

- HARRIS, D. R. The ecology of swidden cultivation in the Upper Orinoco rain forest. *Geographical Review* [S.I.], v. 61, p. 475, 1971.
- HARTT, C. F. Preliminary report of the Morgan Exhibitions, 1870-1871 - report of a reconnoissance of the Lower Tapajós. *Cornell University. Bulletin of Cornell University*, p.1-37. 1874b. (1)
- _____. Contribuições para a Ethnologia do Valle do Amazonas. *Archivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro* [S.I.], v. 6, p. 1, 1885.
- HATCHER, P. G. et al. Aromaticity of humic substances in soils. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], v. 45, p. 1089-1094, 1981.
- HAUMAIER, L.; ZECH, W. Black carbon - possible source of highly aromatic compenents of soil humic acids. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 23, p. 191-196, 1995.
- HAVLIN, J. et al. Soil fertility and fertilizers. An introduction nutrient management. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. Forest products and wood science. An Introduction. 3. ed.: Iowa State University Press/Ames, 1996.
- HECHT, S. B. Indigenous soil management in the Amazon basin: some implications for development. In: BROWDER, J. O. (Ed.). *Fragile Lands of Latin America*. Boulder: Westview Press, 1989. Cap.181. p. 166.
- _____. Indigenous soil management and the creation of Amazonian Dark Earths: implications of Kayapó practices. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 355-372.
- HECHT, S. B.; POSEY, D. A. Preliminary results on soil management techniques of the Kayapó Indians. *Advances in economic botany* [S.I.], v. 7, p. 174, 1989.
- HECKENBERGER, M. J. War and peace in the shadow of empire: socio-political change in the Upper Xingu of south-eastern Amazonia A D 1400 - 2000. (1996). Ph. D. - Departament of Antropology, University of Pittsburgh, 1996.
- _____. Manioc agriculture and sedentism in Amazonia: the Upper Xingu example. *Antiquity* [S.I.], v. 72, p. 633, 1998.
- _____. Estrutura, história e transformação: a cultura Xinguana no longue duree. In: FRANCHETTO, B.; HECKENBERGER, M. J. (Ed.). *Os Povos do Alto Xingu: História e Cultura*. Rio de Janeiro: Editora da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001. Cap.62. p. 21.
- _____. The ecology of power: culture, place and Personhood in the Southern Amazon, A.D 1000 - 2000. New York: Routledge, 2005.
- HECKENBERGER, M. J. et al. Amazonia 1492: pristine forest or cultural parkland? *Science* [S.I.], v. 301, p. 1710, 2003.
- _____. Village size and permanence in Amazonia: two archaeological examples from Brasil. *Latin American Antiquity* [S.I.], v. 10, n. 4, p. 535, 1999.

- _____. Of lost civilizations and primitive tribes, Amazonia: Reply to Meggers. *Latin American Antiquity* [S.I.], v. 12, p. 328-333, 2001.
- HEDGES, J. I.; OADES, J. M. Comparative organic geochemistries of soils and marine sediment. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 27, p. 319-361, 1997.
- HEDLEY, M. J. et al. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], v. 46, p. 970-976, 1982.
- HEIDENREICH, C. E.; NAVRATIL, S. Soil analysis at the Robitaille Site. *Ontario Archaeology Society Publication* [S.I.], v. 20, 1973.
- HEINE, K. Tropical South America during the Last Glacial Maximum: evidence from glacial, periglacial and fluvial records. *Quaternary International* [S.I.], n. 72, p. 7-21, 2000.
- HENDERSON, A. The palms of the Amazon. New York: Oxford University Press, 1995.
- HERRERA, L. F. et al. The technical transformation of an agricultural system in the Colombian Amazon. *World Archeology* [S.I.], v. 24, p. 98, 1992.
- HIGMANL, C.; VANDERBURGT, M. Gasification. New York: Elsevier, 2003. (Gasification).
- HILBERT, P. *Archaeologische Untersuchungen am mittleren Amazonas Marburger Studien zur Völkerkunde*. Berlin: Verlag Dietrich Reimer, 1968.
- HILBERT, P. P. A cerâmica arqueológica da região de Oriximiná Instituto de Antropologia e Etnologia do Pará, 1955. p. 76.
- HIRAOKA, M. et al. Contemporary use and management of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths: Origins, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.406. p. 387.
- HOFRICHTER, M.; FRITSCH, W. Depolymerization of low-rank coal by extracellular enzyme systems. III. In vitro depolymerization of coal humic acids by a crude preparation of manganese peroxidase from the white-rot fungus *Nematoloma frowardii* b19. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* [S.I.], v. 47, p. 566-571, 1997.
- HOLBOURN, A. et al. Impacts of orbital forcing and atmospheric carbon dioxide on Miocene ice-sheet expansion. *Nature* [S.I.], v. 438, n. 24, p. 483, 2005.
- HÖLSCHER, D. et al. Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. *Agriculture Ecosystems & Environment* [S.I.], v. 66, p. 153-163, 1997.
- HOOGHIEMSTRA, H.; VAN DER HAMMEN, T. Neogene and Quaternary development of the neotropical rain forest: the forest refugia hypothesis, and a literature overview. *Earth-Science Reviews* [S.I.], n. 44, p. 147-183, 1998.
- HOORN, C. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonian: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1993.

- _____. Mangrove forest and marine incursions in neogene Amazonia (lower Apaporis river, Colombia). *Palaios* [S.I.], v. 21, n. 197-209, 2006.
- HORBE, A. M. C. et al. Contribuição à hidroquímica de drenagem no município de Manaus-AM. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 35, n. 2, p. 119-124, 2005.
- _____. Geochemistry of Holocene lacustrine sediments - Central Amazonia. In: X Congresso Brasileiro de Geoquímica, Porto de Galinhas. 2005. p.4.
- HSU, P. Interaction between aluminum and phosphate in aqueous solution: *Adv. Chem.*, 1968. p. 115-127.
- HUNN, E. The utilitarian factor in folk biological classification. *American Anthropologist* [S.I.], v. 84, n. 4, p. 830-847, 1982.
- HUSTON, M. A. Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- IBGE. Produção e rendimento total do Estado do Pará. Belém: Delegacia Regional do IBGE/Pará, 2001.
- IDESP. Recursos de Solos Estudos Integrados da Ilha de Marajó. Belém: IDESP, 1974. p. 236-292.
- IKURA, M. et al. Pyrolysis Liquid in Diesel Oil Microemulsions. 1998.
- INGOLD, T. The temporality of the landscape. *World Archaeology* [S.I.], v. 25, p. 152, 1993.
- INSTRUMENTS, K. Energy-Dispersive X-Ray Microanalysis- An introduction. California, 1989. (Inc. San Carlos, Kevex Instruments).
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell: IPCC, 1997.
- IPCC, I. P. O. C. C. Greenhouse gas inventory. Paris: Greenhouse Gas Inventory, 1994. (Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) Joint Programme).
- IPHAN. Coletânea da legislação de proteção ao patrimônio cultural. Manaus, AM, 1988.
- JANZEN, D. H.; MARTIN, P. S. Neotropical anachronisms: the fruits the gomphotheres ate. *Science* [S.I.], v. 215, p. 19-27, 1982.
- JARAMILLO, C. A. Response of tropical vegetation to Paleocene warming. *Paleobiology* [S.I.], v. 28, n. 2, p. 222, 2002.
- JELTSCH, F. et al. Modelling the impact of small-scale heterogeneities on tree-grass coexistence in semi-arid savannas. *J. Ecology* [S.I.], v. 86, p. 780, 1998.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). New York: Dekker: Soil Biochemistry, 1981.
- JOHNSTON, A. E. Soil and plant phosphate. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2000.

- JONES, C. et al. Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for turnover of organic carbon in soil. *Global Change Biology* [S.I.], v. 11, p. 154, 2005.
- JONES, T. P.; ROWE, N. P. The earliest known occurrences of charcoal in the fossil record. In: 9th Annual V.M. Goldschmidt Conference, Cambridge. Harvard University, 1999. p.143.
- JONHNSON, A. Machiguenga Gardens. In: HAMES, R. B.; VICKERS, W. T. (Ed.). *Adaptive Responses of native Amazonians*. New York: Academic Press, 1983. p. 29-63.
- KAANDORP, R. J. G. et al. Seasonal Amazonian rainfall variation in the Miocene climate optimum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [S.I.], v. 221, n. (1-2), p. 1, 2005.
- KAFKAFI, U. et al. Desorption of phosphate from kaolinite. *Soil Sciences Society of America* [S.I.], v. 31, p. 348-353, 1967.
- KALBITZ, K. et al. Spectroscopic properties of dissolved humic substances - a reflection of land use history in a fen area. *Biogeochemistry* [S.I.], v. 47, p. 219-238, 1999.
- KÄMPF, N. Substrato. In: KÄMPF, N. (Ed.). *Produção comercial de plantas ornamentais*. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 254.
- KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. et al (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. Cap.320. p. 277.
- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays and Clay Miner* [S.I.], v. 30, p. 401, 1982.
- KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 77-102.
- KARIMIAN, N.; COX, F. R. Adsorption and extractability of molybdenum in relation to some chemical properties of soil. *Soil Science Society of American Proceedings* [S.I.], v. 42, p. 757-761, 1978.
- KATES, R. W. et al. The great transformation. In: TURNER, B. L. I. (Ed.). *The great transformation. In the earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the past 300 years*. New York: Cambridge University Press & Clark University, 1990. Cap.17. p. 1.
- KATZER, F. *Grundzüge der geologie des unteren Amazonas gebietes (de Staates Pará in Brasilien)*. Leipzig: Verlag von Max Weg, 1903.
- _____. *Geologia do Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi de História Natural e Etnografia* [S.I.], 1933.
- _____. *A Terra Preta. Boletim da Secção do Fomento Agrícola no Estado do Pará* [S.I.], v. 3, p. 35, 1944 [1903].
- KELLER, M. et al. Emissions of N₂O, CH₄ and CO₂ from tropical forest soils. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* [S.I.], v. 91, n. 11, p. 791, 1986.

- KELLY, J. et al. Available phosphorus forms in forest soils and their possible ecological significance. v. 14, n. 12, p. 1217-1234, 1983.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: ED, K. A. (Ed.). *Methods of soil analysis, Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 425-443.
- KERN, D. C. Caracterização pedológica de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. (1988). 232 f. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- _____. Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel - Pará). (1996). 124 f. Tese de doutorado - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- _____. Aproveitamento Econômico dos Resíduos da Indústria Madeireira como Alternativa para Minimizar os Problemas Sócioambientais do Estado do Pará. Belém, p.42. 2004
- KERN, D. C. et al. Pedogeoquímica de solos arqueológicos da região de Caxiuanã, no Estado do Pará. In: XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife. SBCS, 2005.
- KERN, D. C.; COSTA, M. L. Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo Amarelo derivados de lateritos. *Geociências [S.I.]*, v. 16, n. 1, p. 141-156, 1997.
- KERN, D. C. et al. Geoquímica de sítio arqueológico com Terra Preta no centro da cidade de Quatipuru - PA. In: VI Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus. SBG, 1999. p.408.
- _____. Evolution of the scientific knowledge regarding Black Earth soil in the Amazon. In: *The Yearbook of the Conference of Latin American Geographers, Spain*. Conference in Benicassim, 2001. p.7-14.
- _____. Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J. K., D.C.; GLASER, B. AND WOODS, W.I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.75. p. 51.
- _____. A influência de das palmeiras como fonte de elementos químicos em sítios arqueológicos com Terra Preta. In: VI Simpósio da Geologia da Amazônia, Manaus, AM. Resumos. SBG/NO, 1999.
- KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA. *Revista Brasileira de Ciências do Solo [S.I.]*, v. 13, p. 219-25, 1989.
- _____. Características físicas e morfológicas dos Solos com TPA e sua importância para os estudos arqueológicos. *Newsletter CEPA [S.I.]*, v. 17, n. 20, p. 277, 1990.
- KETTERINGS, Q. M. et al. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash and burn fires in Sumatra. *Soil Science Society of America Journal [S.I.]*, v. 64, p. 1108-1117, 2000.
- KIDDER, T. R. The rat that ate Louisiana: aspects of historical ecology in the Missisipi river delta. In: BALÉE, W. (Ed.). *Advances historical ecology*. New York: Columbia University Press, 1998. Cap.168. p. 141.

KIDDER, T. R.; BALÉE, W. Epilogue. In: BALÉE, W. (Ed.). *Advances in historical ecology*. New York: Columbia University Press, 1998. Cap.410. p. 405.

KIEHL, E. J. *Manual de Edafologia*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979.

KIMBER, D. C. et al. *Anatomy and physiology*. New York: Macmillan, 1966.

KIPNIS, R.; SCHEEL-YBERT, R. Arqueologia e paleoambientes. In: SOUZA, C. R. G. et al (Ed.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2005. p. 343-362.

KISHIMOTO, S.; SUGIURA, G. Charcoal as a soil conditioner. In: *Symposium on forest products research - international achievements and the future*. 1985. p. 22-26.

KITTRICK, J. A.; JACKSON, M. L. Rate of phosphate react ion with soil minerals and electron microscope. Observations on the reaction mechanism
Soil Sciences Society of America [S.I.], v. 19, p. 292, 1955.

KLAR, M.; RULE, A. *The technology of wood distillation*. London: Chapman & Hall, 1925.

KLEINMAN, P. J. A. et al. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. *Agric. Ecosyst. Environment* [S.I.], v. 52, p. 235-249, 1995.

KLÜPPEL, M. P. *Sistemas agrícolas e plantas medicinais em Terras Pretas de Índio da Amazônia Central*. (2006). 57 f. Dissertação de Mestrado - Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido, INPA/UFAM, Manaus, AM, 2006.

KNICKER, H. et al. ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopic examonation of the transformation of organic nitrogen in plant biomasa buring termal treatment. *Soil Biology and Biochemistry* [S.I.], v. 28, p. 1053, 1996.

_____. Fire-induced transformation of C- and N- forms in different organic soil fractions from a Dystric Cambisol under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster*). *Soil Biology & Biochemistry* [S.I.], v. 37, p. 701-718, 2005b.

_____. Condensation degree of burnt peat and plant residues and the reliability of solid-state VACP MAS ^{13}C NMR spectra obtained from pyrogenic humic material. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 36, p. 1359-1377, 2005a.

KNUDSON, K. J. et al. Chemical characterization of arctic soils: Activity area analysis in contemporary Tup'ik Fish Camps Using ICP-AES. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 31, p. 443-456, 2004.

KÖGEL-KNABNER, I.; ZIEGLER, F. Carbon distribution in different compartments of forest soils. *Geoderma* [S.I.], v. 56, p. 166-172, 1994.

KONONOVA, M. M. *Soil organic matter*. Oxford: Pergamon Press, 1966.

_____. *Matéria orgânica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona: Oikos-Tou, 1982.

KRAMER, R. W. et al. Identification of black carbon derived structures in a volcanic ash soil humic acid by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *Environ Sci Tech* [S.I.], v. 38, p. 3387-3395, 2004.

KRONBERG, B. I. et al. Late Quaternary sedimentation and palaeohydrology in the Acre foreland basin. *Basin Research* [S.I.], n. 10, p. 311-323, 1998.

_____. The chemistry of some Brazilian soils: element mobility during intense weathering. *Chemical Geology* [S.I.], v. 24, p. 211, 1979.

KUHLBUSCH, T. A. J. Black carbon and the carbon cycle. *Science* [S.I.], v. 280, p. 1903-1904, 1998.

_____. Black carbon and global carbon and oxygen cycle. In: Ninth Annual V. M. Goldschmidt Conference. 1999. p.7360.

KUHLBUSCH, T. A. J. et al. Black carbon formation by savanna fires: measurements and implications for the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* [S.I.], v. 101, n. 23, p. 651-657, 1996.

KUHLBUSCH, T. A. J.; CRUTZEN, P. J. Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO₂ and a source of O₂. *Global Biogeochemical Cycles* [S.I.], v. 9, p. 491-501, 1995.

KUMADA, K. Studies on the color of humic acids. Part 1: on the concepts of humic substances and humification. *Soil Science and Plant Nutrition* [S.I.], v. 11, n. 4, p. 11-16, 1965.

_____. Carbonaceous materials as a possible source of soil humus. *Soil Science and Plant Nutrition* [S.I.], v. 29, p. 383-386, 1983.

KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* [S.I.], v. 61, p. 135-152, 2004.

KUMMEL, B.; RAUP, D. Handbook of paleontological techniques. San Francisco and London: W. H. Freeman Co, 1965.

LAL, R. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science* [S.I.], v. 165, n. 3, p. 191-207, 2000.

LARSEN, S. The use of ³²P in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* [S.I.], v. 4, n. 1, p. 1-10, 1952.

LATHRAP, D. W. Our father the cayman, our mother the gourd: Spinden revisited, or a unitary model for the emergence of agriculture in the New World. In: REED, C.; ABRAHAM, P. W. (Ed.). *Origins of Agriculture*: Mouton Publishers, 1977. p. 713-753.

LATINI, R. M. et al. Classificação de cerâmicas arqueológicas da bacia Amazônica. *Quimica Nova* [S.I.], v. 24, n. 6, p. 724, 2001.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology* [S.I.], n. 44, p. 241-257, 2002.

LATRUBESSE, E. M.; RANCY, A. The Late Quaternary of Upper Juruá River, Southwestern Amazonia Brazil: Geology and vertebrate paleontology. In: RABASSA, J.; SALEMME, M. (Ed.). Quaternary of south America and Antarctic Peninsula, 1995. p. 27-45.

LATRUBESSE, E. M. et al. Grandes sistemas fluviais: geologia, geomorfologia e paleohidrologia. In: SOUZA, C. R. G. et al (Ed.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 276-297.

LEE, G. B. Pedological investigations at Mill Creek, Iowa, archaeological sites - Climatic change and Mill Creek culture of Iowa, Part 2. Journal of the Iowa Archaeological Society [S.I.], v. 16, p. 318-332, 1968.

LEGEROS, R. Z.; LEGEROS, J. P. Phosphate minerals in human tissues. In: NRIAGU, J. O.; MOORE, P. B. (Ed.). Phosphate minerals. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p. 351-385.

LEHMANN, J. et al. Sequential P fractionation of relict anthropogenic. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). Amazonian Dark Earths; exploration in space and time. Berlin: Springer-Verlag, 2004. p. 113-123.

_____. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change [S.I.], v. 11, p. 403, 2006.

_____. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). Amazonian dark earths: Origins, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 105-124.

_____. Amazonian Dark Earths: Origin, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2003. p. 523.

LEHMANN, J.; RONDON, M. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: UPHOFF, N. T. et al (Ed.). Biological approaches to sustainable soil systems. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006. p. 517-530.

LEHMANN, J. et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil [S.I.], v. 249, p. 343, 2003.

LEISHMAN, M. R. et al. Soil phosphorus enhancement below stormwater outlets in urban bushland: spatial and temporal changes and the relationship with invasive plants. Australian Journal of Soil Research [S.I.], v. 42, n. 2, p. 197, 2004.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta do solo no campo. Campinas: SBSC/SNLCS, 1996.

LÉVI-STRAUSS, C. The savage mind. Chicago: University of Chicago Press, 1966.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. <http://www.mma.gov.br/port/sbf/chm/relpub.html> Biodiversidade. n. 11 de novembro de 2005, 2000. Acesso em: 11 de novembro de 2005.

LI, Y.; LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. Biomass and Bioenergy [S.I.], v. 19, n. 3, p. 177-186, 2000.

- LIANG, B. et al. Black carbon increases catio exchange capacity in soils. *Soil Science of Society America Journal* [S.I.], v. 70, p. 1719-1730, 2006.
- LIMA, H. N. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. (2001). 176 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of western Amazonia. *Geoderma* [S.I.], v. 110, p. 1, 2002.
- LIMA, P. C. Micromorphological observations of some soils from tablelands of Brazil. (1981). 140 f. Dissertação de Mestrado - Mestrado em Ciência do Solo, University of Reading, 1981.
- LIMBREY, S. Soil science and archaeology. New York: Academic Press, 1975.
- LINDERHOLM, J.; LUNDBERG, E. Chemical characterization of various archaeological soil samples using main and trace elements determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 21, p. 303, 1994.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and cooper. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], v. 42, n. 2, p. 421-428, 1978.
- LISBOA, P. (Ed.) Homem e manejo de recursos naturais na Região de Caxiuanã. *Natureza*. Melgaço, Pará: MCT/MPEG, p.446, Naturezaed. 2002.
- LIVINGSTONE, D. A. Communities of the past. In: GREENIDGE, K. N. H. (Ed.). *Essays in Plant Geography and Ecology*. Halifax, Nova Scotia: The Nova Scotia Museum, 1969. Cap.104. p. 82.
- LLERAS, E. et al. Diversidade vegetal utilizada por comunidades ribeirinhas no alto rio Amazonas, Brasil. sd. (Manuscripto enviado a Pesquisa Agropecuária Brasileira)
- LOMOLINO, M. V. A call for a new paradigm of island biogeography. *Global Ecol. Biogeogr.* [S.I.], v. 9, p. 1, 2000.
- LONG, J. V. P. Microanalysis from 1950 to the 1990s. In: POTTS, P. J. et al (Ed.). *Microprobe techniques in the Earth Sciences*. London: Chapman Hall, 1995. p. 1-48.
- LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 21-32.
- LORCH, W. Die Mikroschurfung, eine neue Methode der Wüstungforshung. *Zeitschrift für Erdkunde* [S.I.], v. 6, p. 177-184, 1938.
- _____. Methodische Untersuchungen zur Wüstungforshung. *Arbeiten zur Landes - und Volksforschung*. Anstalt für geschichtlich Landeskunde an der Friedrich-Schiller Universität. Jena. 1939.
- _____. Neue Methoden der Siedlungsgeschichte. *Geographisches Zeitschrift* [S.I.], v. 45, p. 294-305, 1939.
- _____. Die siedlungsgeographische Phosphatmethode. *Die Naturwissenschaften* [S.I.], v. 28, p. 633-640, 1940.

- _____. Die anthropogenen Bodenphosphate des Hohenstaufen-Gipfels. *Jahebücher für Statistik und Landeskunde von Baden-Württemberg* [S.I.], v. 1, p. 367-375, 1954.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. *Plantas medicinais no Brasil - nativas e exóticas*. São Paulo: Instituto Plantarum, 2002.
- LORSCHUITTER, M. L. Contribution to the Holocene history of Atlantic rain forest in the Rio Grande do Sul state, southern Brazil. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* [S.I.], v. 5, n. 2, p. 261, 2003.
- LOUÉ, A. *Oligoéléments en agricultures*. Antibes: SCPA-NATHAN, 1993.
- LUGO, A. E. et al. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. *Plant and Soil* [S.I.], v. 96, p. 185, 1986.
- LUTZ, H. J. The concentration of certain chemical elements in the soils of Alaskan archaeological sites. *American Journal of Science* [S.I.], v. 249, p. 925-928, 1951.
- MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. *The theory of island biogeography*. New Jersey: Princeton University Press, 1967.
- MACEDO, R. S. et al. Caracterização de dois perfis com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) no Lago do Limão - AM. In: XI Congresso da Abequa XII Congresso da Abequa: Estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental, Belém. ABEQUA/UFPA, 2007.
- MADARI, B. et al. The effect of management on the fertility of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths. Origin, properties, management*. Dordrecht: Kluwer, 2003. p. 407-432.
- MADARI, B. E. Matéria orgânica de Terra Preta do Índio da Amazônia; características e o papel da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G. et al (Ed.). *Terra Preta, este volume*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007.
- MADARI, B. E. et al. Research on anthropogenic Dark Earth Soils. Could it be a solution for sustainable agricultural development in the Amazon? In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time*. Berlin: Springer, 2004. Cap.181. p. 169.
- MAGALHÃES, M. P. *Arqueologia de Carajás: A presença pré-histórica do homem na Amazônia*. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.
- MAGUIRE, R. O. et al. Phosphorus fractionation in biosolids-amended soils: relationship to soluble and desorbable phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], v. 64, p. 2018-2024, 2000.
- MAJOR, J. et al. Influence of market orientation on food plant diversity of farms located on Amazonian Dark Earth in the region of Manaus, Amazonas, Brazil. *Economic Botany* [S.I.], v. 59, n. 1, p. 77, 2005.
- _____. Weed population dynamics and management on Amazonian dark earth. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origins, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.454. p. 433.

- _____. Weed dynamics on Amazonian Dark Earth and adjacent soils of Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* [S.I.], v. 111, p. 1, 2005.
- _____. Weed seedbanks, flora and dynamics on Amazonian Dark Earth and adjacent soils in the central Brazilian Amazon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* [S.I.], v. 111, p. 1, 2005.
- _____. Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: compost, fertilizer, manure and charcoal applications. *Weed Biology and Management* [S.I.], v. 5, p. 69, 2005.
- MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia. In: VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. (Ed.). *Amazônia: Seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p. 374-416.
- _____. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.
- MALAVOLTA, E. et al. Avaliação do estado nutricional da plantas - princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MALCOLM, R. L. Applications of solid-state ^{13}C NMR spectroscopy to geochemical studies of humic substances. In: HAYES, M. H. B.; AL, E. (Ed.). *Humic substances II. In search of structure*. New York: John Wiley & Sons, 1989. p. 309-372.
- MALINGREAU, J. P. et al. Remote-sensing of forest-fires - Kalimantan and North-Borneo in 1982-83. *Ambio* [S.I.], v. 14, p. 314-321, 1985.
- MARBUTT, C. F.; MANIFOLD, C. B. The soils of the Amazon basin in relation to their agricultural possibilities. *Geographical Review* [S.I.], v. 16, p. 414, 1926.
- MARQUARDT, W. H. Culture and environment in the Domain of the Clusa. (1992). Monograph - Institute of Archaeology and Paleoenvironmental Studies, University of Florida, Gainesville, 1992.
- MARQUES, J. D. O. et al. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 34, p. 145-154, 2004.
- MARQUEVICH, M. et al. Hydrogen from biomass: Steam reforming of model compounds of fast-pyrolysis oil. *Energy and Fuels* [S.I.], v. 13, n. 6, p. 1160-1166, 1999.
- MARSCHNER, H. M. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2. ed. London: Academic Press, 1995.
- MARSH, N. D. et al. Yields of polycyclic aromatic hydrocarbons from the pyrolysis of catechol [ortho-dihydroxybenzene]: Temperature and residence time effects. *Energy and Fuels* [S.I.], v. 18, n. 1, p. 209-217, 2004.
- MARTIN-NETO, L. et al. Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from soil fractions of a mollisol. *Soil Science* [S.I.], v. 157, p. 365-372, 1994.
- MARTINS, G. C. et al. Ocorrência de horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio) em Neossolos Quartzarênicos no município de Parintins - AM - Brasil. In: XI Congresso da ABEQUA, XI Congresso da Abequa: estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental, Belém. ABEQUA/UFPA, 2007.

- MASIELLO, C. A. New directions in black carbon organic geochemistry. *Mar. Chemical* [S.I.], v. 202, p. 201-213, 2004.
- MASIELLO, C. A.; DRUFFEL, E. R. M. Black carbon in deep-sea sediments. *Science* [S.I.], v. 280, p. 1911-1913, 1998.
- MCAULIFFE, C. D. et al. Exchange reactions between phosphates and soils: hydroxolic sulfate of minerals. *Soil Science Society of America Proceedings* [S.I.], v. 12, p. 115-123, 1948.
- MCCANN, J. M. Before 1492: The making of the pre-columbian landscape, Part II: The vegetation, and implications for restoration for 2000 and beyond. *Ecological Restoration* [S.I.], v. 17, n. 3, p. 107, 1999.
- _____. Subsidy from culture: Anthropogenic soils and vegetation in Tapajônia, Brazilian Amazonia. (2004). Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, Madison, 2004.
- MCCANN, J. M. et al. Organic matter and Anthrosols in Amazonia: Interpreting the Amerindian Legacy. In: REES, R. M. et al (Ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. Wallingford: CAB International, 2001. Cap.189. p. 180.
- MEGGERS, B. (Ed.) *Environment and culture in the Amazon Basin: an appraisal of the theory of environmental determinism*. Studies in Human Ecology. Washington: Pan American Union, v.3, p.80-83, Studies in Human Ecology. 1957.
- _____. The mystery of the Marajoara: an ecological solution. *Amazoniana* [S.I.], v. 16, n. 3/4, p. 421, 2001.
- MEGGERS, B. J. *Amazonia: man and culture in a counterfeit paradise*. Revised edition. ed. Washington: Smithsonian Institution Press, 1996.
- MEGGERS, B. J.; MILLER, E. T. Hunter-gatherers in Amazonia during the Pleistocene-Holocene transition. In: MERCADER, J. (Ed.). *Under the canopy: The archaeology of tropical rain forests*. New Brunswick: Rutgers University Press, 2003. p. 291-316.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [S.I.], v. 9, n. 2, p. 477-492, 1978.
- _____. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [S.I.], v. 15, p. 1409-1416, 1984.
- MEIER, D.; FAIX, O. State of the art of applied fast pyrolysis of lignocellulosic materials - a review. *Bio-resource Technology* [S.I.], v. 68, p. 71, 1999.
- MEIRELES, A. R. O. Determinação de P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn em terra preta arqueológica no sítio Ilha de Terra em Caxiuanã. (2004). Dissertação de Mestrado - Departamento de Química, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2004.
- MERTES, L. A. K. et al. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. *Geological Society of America Bulletin* [S.I.], V. 108, n. 9, p. 1089-1107, 1996.
- MÉTRAUX, A. The revolution of the Ax. *Diogenes* [S.I.], v. 25, p. 28, 1959.

MIDDLETON, W. D.; PRICE, T. D. Identification of Activity Áreas by Multi-Element Characterization of Sediments from Modern and Archaeological House Floors Using Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 23, p. 673-687, 1996.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. *Tópicos em Ciência do Solo* [S.I.], v. 3, p. 209-248, 2003.

MIGLIAZZA, E. Organização social dos Xiriâna do rio Uraricaá. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi* [S.I.], v. 22, p. 1-19, 1964.

MILLER, R. P.; NAIR, P. K. R. Indigenous agroforestry systems in Amazonia: from prehistory to today. *Agroforestry Systems* [S.I.], v. 66, p. 151-164, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. <http://www.mma.gov.br>. n. 11 de novembro de 2005, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>.

MIYASAKA, S. et al. Técnicas de produção e uso do Fino de Carvão e Licor Pirolenhoso. In: *Encontro de Processos de Proteção de plantas: Controle ecológico de pragas e doenças*, Botucatu. 2001. p.161-176.

MOCHIDZUKI, K. et al. Production and characterization of carbonaceous adsorbents from biomass wastes by aqueous phase carbonization. *Adsorption* [S.I.], v. 11, n. 1, p. 669 - 673, 2005.

MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem continental brasileira. In: BIZZI, L. A. et al (Ed.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília: CPRM, 2003. p. 87-165.

MONTEIRO, K. F. G. Utilização de resíduos de madeira como cobertura no solo: o estudo de caso de um sistema agroflorestal no estado do Pará. (2004). 102 f. Dissertação de Mestrado - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2004.

MORA, S. Suelos negros y sociedad: Un sistema agrícola de entonces, un sistema agrícola de ahora? In: HIRAOKA, M.; MORA, S. (Ed.). *Desarrollo sostenible en la Amazonia: Mito o realidad?* Quito-Ecuador: Ediciones Abya-Yala, 2001. p. 31-45.

_____. Archaeobotanical methods for the study of Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths: origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.225. p. 205.

MORA, S. et al. (Eds.) Cultivars, anthropic soils and stability: a preliminary report of archaeological research in Araracuara, Colombian Amazonia. *Latin American Archaeology Reports*, v.2. Pittsburgh: University of Pittsburgh, p.108, *Latin American Archaeology Reports*, v.2ed. 1991.

MORAES, J. L. et al. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], v. 59, p. 244, 1995.

MORÁN, E. F. *Developing the Amazon*. Bloomington, Indiana: Indiana University Press, 1981.

_____. *A ecologia humana das populações da Amazônia*. Petrópolis: Vozes, 1990. (Ecologia & Ecosofia).

- MORCOTE-RIOS, G.; BERNAL, R. Remains of palms (Palmae) at archaeological sites in the New World: A review. *Botanical Review* [S.I.], v. 67, n. 3, p. 309-350, 2001.
- MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. In: BRAGANTIA (Ed.). 2007. p. 307-315.
- MOREIRA, A. et al. Acidez potencial pelo método do pH SMP no Estado do Amazonas. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2004. p. 89-92.
- MOREIRA, A.; CASTRO, C. Extrator KCl 1,0 mol L⁻¹: novo extrator para determinar o teor de boro disponível no solo. In: 9 Congresso Nacional y Internacional de La Ciencia del suelo, Cuzco. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco/Universidad Nacional Agraria La Molina, 2004. p.23-27.
- MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Potential of Brazilian Amazon Soils for Food and Fiber Production. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* [S.I.], v. 2, p. 82-88, 2008.
- MOREIRA, A. et al. Mapas da distribuição aproximada da fertilidade dos solos do estado do Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1995.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas). Piracicaba: CENA/USP, 2002. p. 79.
- MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W. G. M., G C. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em solos antrópicos da Amazônia. *Ciencia del Suelo* [S.I.], v. 37, 2009.
- MORELLI, M.; FERREIRA, E. B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [S.I.], v. 11, n. 1, p. 1-6, 1987.
- MORSBRUGGER, V. et al. Cenozoic continental climatic evolution of Central Europe. *PNAS* [S.I.], v. 102, n. 42, p. 14964, 2005.
- MORSE, J. *Geography made easy: being an abridgment of the american universal geography*. Boston: Thomas & Andrews, 1809.
- MOSMANN, R. et al. Oil and gas potential of the Amazon Paleozoic basins. In: HALBOUTY, M. T. (Ed.). *Future petroleum provinces of the world*. Tulsa-Oklahoma: AAPG Memoir, 1986. p. 207-241.
- MOTTA, R. S. D. Manual para a valoração econômica de recursos ambientais. 218. ed. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998.
- MÜLLER, R. Asurini do Xingu. *Revista de Antropologia* [S.I.], v. 27/28, p. 91-114, 1984-1985.
- _____. De como ciconta e duas pessoas reproduzem uma sociedade indígena. Os asurini do Xingu. (1987). 385 f. Tese de Doutorado - Departamento de Antropoligia Social, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- _____. Os Asurini do Xingu (História e Arte). Campinas: Editora da UNICAMP, 1990.

- _____. Tayngava. A noção de representação na arte gráfica. In: VIDAL, B. (Ed.). *Grafismo indígena*. São Paulo: Studio Nobel/EDUSP/FAPESP, 1992. p. 231-248.
- MUNSELL. Munsell Soil Color Charts. Color Company. Baltimore, 1975.
- MUYLAERT, M. S. et al. Charcoal's production in Brazil - process efficiency and environmental effects. *Renewable Energy* [S.I.], v. 16, n. 1-4, p. 1037-1040, 1999.
- MYERS, J. H.; BAZELY, D. *Ecology and control of introduced plants*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- NATARAJAN, E. et al. Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors. *Biomass and Bioenergy* [S.I.], v. 14, n. 5/6, p. 533 - 546, 1998.
- NEILL, C.; DAVIDSON, E. A. Soil carbon accumulation or loss following deforestation for pasture in the Brazilian Amazon. In: LAL, R. et al (Ed.). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Boca Raton: *Advances in Soil Science* CRC Press, 2000. Cap.211. p. 197.
- NEILL, C. et al. Forest and pasture derived carbon contributions to carbon stocks and microbial respiration of tropical pasture soils. *Oecologia* [S.I.], v. 107, p. 113, 1996.
- NEPSTAD, D. C. et al. The role of deep roots in the hydrological cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* [S.I.], v. 372, p. 666, 1994.
- NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B. Political economy and pre-Columbian landscape transformations in central Amazonia. In: BALÉE, W.; ERICKSON, C. L. (Ed.). *Time and complexity in historical ecology*. New York: Columbia University Press, 2006a. Cap.309. p. 279.
- NEVES, E. G. et al. The timing of terra preta formation in the Central Amazon: Archaeological data from three sites. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: explorations in space and time*. Berlin: Springer, 2004. p. 125-134.
- _____. Historical and socio-cultural origins of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths: Origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 29-50.
- NEVES JUNIOR, A. F. Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central. (2008). 93 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- NEVES JUNIOR, A. F. et al. Soil physical properties of two anthropics horizons "Terra Preta de Índio" (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], 2008 (in press).
- NICOLI, I. G. et al. Estudo de sítios arqueológicos com estruturas de terra circular situadas na Bacia Amazônica - Brasil por meio de métodos geoquímicos: caracterização de cerâmicas. In: VI Congresso de Geoquímica Países de Língua Portuguesa, XII Semana de Geoquímica, Faro. Universidade do Algarve, 2001. P.661.
- NIEMEIER, G. Die problematik der Alterbestimmung von Plaggenböden: Möglichkeiten und Grenzen von archölogischen und C14- datierungen. *Erkunde* [S.I.], v. 26, p. 196-208, 1972.

- NIEMEIER, G.; TASCHENMACHER, W. Plaggenböden: Beiträge zu ihrer Genetik und Typologie. Zeitschrift für Westfälische Forschungen [S.I.], p. np, 1939.
- NIMUENDAJU, C. The Tapajó. Kroeber Anthropological Society Papers [S.I.], n. 6, p. 1, 1952.
- NIMUENDAJÚ, C. Little-known tribes of the lower Tocantins river region e tribes of the lower and middle Xingu river. In: STEWARD, J. (Ed.). Handbook of Southamerican Indians. Washintong: Smithsonian Institution - Bureau of American Ethnology, 1948. Cap.243. p. 213.
- _____. Os Tapajó. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi [S.I.], v. 10, p. 1, 1949.
- _____. In pursuit of a past Amazon: archaeological researches in Brazilian Guyana, in the Amazon region - posthumous work. Göteborg: Elanders Infologistik Väst AB, 2004. ((Etnologiska Studier, v 45).
- NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: Possíveis impactos nos ecossistemas do País. Parecerias Estratégicas [S.I.], v. 12, p. 239, 2001.
- NORMAN, P.; READER, F. W. Further discoveries relating to roman London, 1906-1912 Archaeologia or miscellaneous tracts relating to antiquity: Society of antiquaries of London. London, 1912. p. 257-344.
- NOVAIS, R. F.; J, S. T. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- NOVAKOV, T. The role of soot and primary oxidants in atmospheric science. Science of the Total Environment [S.I.], v. 36, p. 1-10, 1984.
- NOVOTNY, E. H. Estudos espectroscopicos e cromatográficos de substâncias húmicas de solos sob diferentes sistemas de preparo. (2002). 251 f. Tese de Doutorado - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- NOVOTNY, E. H. et al. Avaliação por ¹³C-RMN de ácidos húmicos obtidos de subprodutos da carbonização vegetal. In: V Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Curitiba. 2003. p.61.
- _____. Studies of the Compositions of Humic Acids from Amazonian Dark Earth Soils. Environmental Science & Technology [S.I.], v. 41, n. 2, p. 400, 2007.
- _____. Characterisation of Black Carbon rich samples by ¹³C solid-state nuclear magnetic resonance. Naturwissenschaften [S.I.], v. 93, n. 9, p. 447, 2006.
- _____. Caracterização do carbono pirogênico por ressonância magnética nuclear. In: VI Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Rio de Janeiro. 2005. p.28.
- NUMATA, K. et al. Effects of pyroligneous acid (wood vinegar) on the several soilborne diseases. Proceedings of the Kanto Tosan Plant Protection Society [S.I.], v. 5, n. 41, p. 107-110, 1994.
- NYE, P. H.; GREENLAND, D. J. The soil under shifting cultivation. Rio de Janeiro: APEC, 1960.
- _____. Changes in the soil after clearing tropical forest. Plant and Soil [S.I.], v. 21, n. 1, p. 101, 1964.

OADES, J. M. et al. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C. et al (Ed.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p. 69-95.

OBERLIN, A. et al. Electron microscopic study of kerogen microstructure. Selected criteria for determining the evolution path and evolution stage of kerogen. In: DURAND, B. (Ed.). Kerogen: insoluble organic matter from sedimentary rocks. Paris: Techip, 1980. p. 191-241.

OGAWA, M. Symbiosis of people and nature in the tropics. Farming Japan [S.I.], v. 28, n. 5, p. 10, 1994.

_____. Tropical agriculture using charcoal. Farming Japan [S.I.], v. 28, n. 5, p. 21, 1994.

OHTA, S. et al. Experimental studies on the behavior of fine organic particles and water-soluble organic matter in mineral soil horizons. Soil Sci. Plant Nutr [S.I.], v. 32, p. 15-26, 1986.

OLIVEIRA, J. B. D. et al. Propriedades do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Ed.). Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, controle de qualidade. Belo Horizonte: CETEC, 1982a. p. 39-61.

_____. Produção de Carvão Vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.). Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC, 1982b. p. 60-73.

OLIVEIRA, J. R. C. D. et al. Caracterização dos solos da Folha Itapacurá-Mirim, município de Trairão, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

OLIVEIRA, M. L. Análise de elementos químicos em solos da região de Caxiuanã - Pa. MCT/CNPq/MPEG, p.20. 2000

OLIVER, J. R. The archaeology of forest foraging and agricultural production in Amazonia. In: MCEWAN, C. et al (Ed.). Unknown Amazon. London: The British Museum Press, 2001. p. 50-85.

OLSEN, S. R.; KHASAWNEH, F. E. Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F. E. et al (Ed.). The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 361-410.

OLSEN, S. R.; SOMMER, L. E. Phosphorus. In: MILLER, R. H.; KENNEY, D. R. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 403-430.

ORTON, J. The Andes and the Amazon or across the continent of South America. 3. ed. New York: Harper and Brothers Plubishers, 1875.

OSUNADE, M. A. A. Identification of crop soils by farmers of south-western Nigeria. Journal of Environmental Management [S.I.], v. 35, p. 193-203, 1992.

PABST, E. Terra Preta do Índio: Chemische Kennzeichnung und ökologische Bedeutung einer brasilianischen Indianerschwarzerde. (1985). 362 f. Dissertação de mestrado - Fakultät für Geowissenschaften, Ludwig-Maximilian Universität, München, 1985.

_____. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e seus significados para a discussão pedogenética. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi [S.I.], v. 7, n. 1, p. 5-19, 1991.

- PABST, E. E. Terra preta, ein beitrage zur genese-discussion auf der basis von geländearbeiten bei Tupi-volkern Amazoniens. (1993). Tese não publicado, University Kassel, 1993.
- PAFITT, R. L. et al. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma* [S.I.], v. 75, n. 1/2, p. 1-12, 1997.
- PAGANI, M. et al. Late Miocene atmospheric CO₂ concentrations and the Expansion of C₄ grasses. *Science* [S.I.], v. 285, p. 876, 1999.
- PAPE, J. C. Plaggen soils in the netherlands. *Geoderma* [S.I.], v. 4, p. 229-255, 1970.
- PARNELL, J. J. et al. Soil Chemical Analysis Applied as an Interpretive Tool for Ancient Human Activities in Piedras Negras, Guatémala. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 29, p. 379-404, 2002a.
- _____. Soil chemical analysis of ancient activities in Cerén, El Salvador: a case study of a rapidly abandoned site. *Latin American Antiquity* [S.I.], v. 13, n. 3, p. 331, 2002.
- PARSON, R. B. Indian mounds of northeast Iowa as soil genesis benchmarks. *Journal of the Iowa Archaeological Society* [S.I.], v. 12, p. 1-70, 1962.
- PENDLETON, R. L. Land use in northeastern Thailand. *The Geographical Journal* [S.I.], v. 33, p. 15-41, 1943.
- PEREIRA, E. Arte rupestre na Amazônia - Pará. Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi. São Paulo: UNESP, 2003.
- PEREIRA, J. C. R. Cultura do guaranazeiro no Amazonas. 4. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005.
- PEREIRA, M. G. et al. Organic carbon determination. *Scientia Agricola* [S.I.], v. 63, p. 187-193, 2006.
- PÉREZ, M. G. et al. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ¹³C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. *Geoderma* [S.I.], v. 118, p. 181-190, 2004.
- PERKINS, W. T.; PEARCE, N. J. G. Mineral microanalysis by laserprobe inductively coupled plasma mass spectrometry. In: POTTS, P. J. et al (Ed.). *Microprobe techniques in the Earth Sciences*. London: Chapman Hall, 1995. p. 291-325.
- PERRY, D. A.; AMARANTHUS, M. P. Disturbance, recovery and stability. In: KOHM, K. A.; FRANKLIN, J. F. (Ed.). *Creating a forest for the 21st century: the science of ecosystem management*. Washington: Island Press, 1997. Cap.56. p. 31.
- PETERS, C. M. Precolumbian silviculture and indigenous management of Neotropical forests. In: LENTZ, D. L. (Ed.). *Imperfect balance: Landscape transformations in the Precolumbian Americas*. New York: Columbia Univ. Press, 2000. p. 203-224.
- PETERSEN, J. B. et al. Gift from the past: terra preta and prehistoric Amerindian occupation in Amazonia. In: MCEWAN, C. et al (Ed.). *Unknown Amazon: culture in nature in ancient Brazil*. Londres: The British Museum Press, 2001. Cap.105. p. 86.

PETERSON, D. L.; PARKER, V. T. Dimensions scale in ecology, resource management and society. In: PETERSON, D. L.; PARKER, V. T. (Ed.). *Ecological scale: theory and application*. New York: Columbia University Press, 1998. Cap.522. p. 499.

PHEECH, M. Exchange acidity. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 905-913.

PICCOLO, A. et al. Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. *Soil Use and Management [S.I.]*, v. 12, p. 209-213, 1996.

_____. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma [S.I.]*, v. 75, p. 267-277, 1997.

PIETIKAINEN, J. et al. Charcoal as a habitat for microbes and its effects on the microbial community of the underlying humus. *Oikos [S.I.]*, v. 89, p. 231-242, 2000.

PIIPA. *Resource Manual for Bioprospecting*. Washington: PIIPA, 2004.

PINTO, A. E. et al. Mineralogia e composição química dos fragmentos cerâmicos de sítios arqueológicos de Cachoeira-Porteira (Oriximiná-PA). (1992). *Monografia - Centro de Geociências Departamento de Geoquímica e Petrologia, Universidade Federal do Pará*, 1992.

PLANTAR. <http://www.plantar.com.br>. n. 10 de fevereiro 2003/2003.

POIRIER, N. et al. Chemical structure and sources of the macromolecular, resistant, organic fraction isolated from a forest soil (Lacadée, south-west France). *Organic Geochemistry [S.I.]*, v. 31, n. 9, p. 813-827, 2000.

_____. Abundance and composition of the refractory organic fraction of an ancient, tropical soil (Pointe Noire Congo). *Organic Geochemistry [S.I.]*, v. 33, p. 383-391, 2002.

POLITIS, G. Foragers of the Amazon: The last survivors or the first to succeed? In: MCEVAN, C. et al (Ed.). *Unknown Amazon: culture in nature in ancient Brazil*. London: British Museum Press, 2001. Cap.49. p. 26.

PONOMARENKO, E. V.; ANDERSON, D. W. Importance of charred organic matter in black chernozem soils of Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci. [S.I.]*, n. 81, p. 285-297, 2001.

PORRO, A. Social organization and political power in the Amazon floodplain: The ethnohistorical sources. In: ROOSEVELT, A. C. (Ed.). *Amazonian indians from prehistory to the present: Anthropological perspectives*. Tucson: University of Arizona Press, 1994. p. 79-94.

POSEY, D. A. Indigenous management of tropical forest ecosystems. *Agroforestry Systems [S.I.]*, v. 3, p. 139, 1985.

_____. Biodiversity, genetic resources and indigenous peoples in Amazonia: (re) discovering the wealth of traditional resources of native Amazonians. In: HALL, A. (Ed.). *Amazonia at the crossroads*. London: Institute of Latin American Studies, 2000. p. 188-204.

_____. *Kayapó ethnoecology and culture*. K. Plenderleith. ed. London: Routledge, 2002.

- POTTER, R. L. et al. Assessment of a phosphorus fraction method for soil: problems for further investigation. *Agricultural ecosystem and environment* [S.I.], v. 34, p. 453-463, 1991.
- PRANCE, G. T.; SCHUBART, H. O. R. Nota preliminar sobre a origem das campinas abertas de areia branca do baixo Rio Negro. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 7, p. 567, 1977.
- PRENTICE, I. C. et al. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: HOUGHTON, J. T. et al (Ed.). *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. Cap.237. p. 183.
- PUBLIC INTEREST INTELLECTUAL PROPERTY ADVISORS. *Resource Manual for bioprospecting*. Washington: PIIPA, 2004.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Determinação do pH em cloreto de cálcio e acidez total. In: RAIJ, B. et al (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 181-188.
- QUEIROZ, J. S.; NORTON, B. E. An assessment of an indigenous soil classification used in the Caatinga region of Ceará State, Northeast Brazil. *Agricultural Systems* [S.I.], v. 39, p. 289-305, 1992.
- RADLEIN, D. The Production of Chemicals from Fast Pyrolysis of Bio-Oils. In: BRIDGWATER; AL, E. (Ed.). *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook*: CPL Press, 1999. p. 164-188.
- RAFFLES, H. In *Amazonia: a natural history*. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo: Ceres/Potafos, 1991.
- RAIJ, B. V. et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. IAC [S.I.], p. 285, 1997.
- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [S.I.], v. 21, n. 13/16, p. 1267-1276, 1990.
- RAIJ, B. V. et al. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [S.I.], v. 17, n. 5, p. 547-566, 1986.
- RAMAKRISHNAN, P. S. *Shifting Agriculture and Sustainable Development*. PARIS: UNESCO, 1992. (Man and Biosphere Series).
- RAMOS, A. *As culturas indígenas*. Rio de Janeiro: Livraria Editora da Casa do Estudante do Brasil, 1971.
- RANZANI, G. et al. Ocorrência de "Plaggen Epidedon" no Brasil. *Bol. Te. Cient. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"* [S.I.], v. 5, p. 1-11, 1962.
- RANZI, A.; AGUIAR, R. *Geoglifos da Amazônia. Perspectiva aérea*. Florianópolis: Faculdades de Energia, 2004.
- RATTER, J. A. et al. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso II. Forests and soils of the Rio Suia-Missu área. *Proceedings of the Royal Society of London* [S.I.], v. 203, p. 191-208, 1978.

- RAUSA, R. et al. Humic acids from coal: production, characterization and utilization. In: SENESI, N. et al (Ed.). Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier, 1994. p. 1225-1244.
- REED, S. J. B. Electron microprobe microanalysis. In: POTTS, P. J. et al (Ed.). Microprobe techniques in the Earth Sciences. London: Chapman Hall, 1995. p. 49-89.
- RENCK, A.; LEHMANN, J. Rapid water flow and transport of inorganic and organic nitrogen in a highly aggregated tropical soil. Soil Science [S.I.], v. 169, p. 330-341, 2004.
- REUTER, D. J. et al. Temperate and tropical crops. In: REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. (Ed.). Plant Analysis; an interpretation manual. Collingwood: CSIRO Publishing, 1997. p. 81-284.
- RIBEIRO, B. G. A oleira e a tecelã. Revista de Antropologia [S.I.], v. 26, p. 25-61, 1982.
- RITCHEY, K. D. O potássio nos Oxissolos e Ultissolos dos trópicos úmidos. Instituto Internacional da Potassa. Piracicaba, p.69. 1982. (7)
- RIVAL, L. Trekking through history: the huaorani of Amazonian Ecuador. New York: Columbia University Press, 2000.
- RÖBER, R. Substratos hortícolas: possibilidades e limites de sua composição e uso; exemplos da pesquisa, da indústria e do consumo. In: KÄMPF, N. et al (Ed.). Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 209-215.
- RODRIGUES, A. J. Ecology of the Kayabí Indians of Xingú, Brazil: soil and agroforestry management. (1993). 78 f. Ph.D., University of Cambridge, Cambridge, 1993.
- RODRIGUES, I. D. Estudos palinológicos em sedimentos do Holoceno do lago Caracaranã, Roraima, Brasil. (2006). 187 f. Dissertação de mestrado - Mestrado em Botânica, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2006.
- RODRIGUES, I. D.; ABSY, M. L. Registros palinológicos em amostras de sedimentos do Holoceno do lago Caracaranã, Roraima, Amazônia. In: X Congresso da Associação Brasileira do Quaternário (ABEQUA), Guarapari. ABEQUA, 2005. p.np.
- RODRIGUES, M. R. L. Disponibilidade de micronutrientes em solos da Amazônia. (1998). 156 f. - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- RODRIGUES, T. et al. Geoquímica de solos com Terra Preta Arqueológica de caxiuanã. In: 9 Congresso Brasileiro de Geoquímica. Universidade Federal do Pará, 2003. p.199-202.
- RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H. et al (Ed.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. Cap.60. p. 19.
- _____. Caracterização e classificação dos solos do Município de Tailândia, Estado do Pará. Embrapa-Cpatu. Belém, p.32. 2001.
- RODRIGUES, T. E. et al. Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. (Serie Documentos Embrapa Amazônia Oriental).

_____. Levantamento semidetalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do campo experimental do Caldeirão do CPAA/Embrapa Iranduba, Estado do Amazonas. Embrapa-SNLLS / Embrapa Amazônia Oriental. Belém, p.74. 1991

RONDON, M. et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils* [S.I.], v. 43, n. 6, p. 699-708, 2007.

ROOSEVELT, A. Paleo-indian cave dwellers in the Amazon: The Peopling of the Americas. *Science* [S.I.], v. 272, n. 19, p. 373-84, 1996.

ROOSEVELT, A. C. Parmana: prehistoric maize and manioc subsistence along the Amazon and Orinoco. New York: Academic Press, 1980.

_____. Determinismo ecológico na interpretação do desenvolvimento social indígena da Amazônia. In: NEVES, W. (Ed.). *Origem, adaptações e diversidade biológica do homem nativo da Amazônia*: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. Cap.159. p. 103.

_____. Amazonian anthropology: Strategy for a new synthesis. In: ROOSEVELT, A. C. (Ed.). *Amazonian indians from prehistory to the present: Anthropological perspectives*. Tucson: University of Arizona Press, 1994. p. 1-29.

_____. Ancient and modern hunter-gatherers of lowland South America: An evolutionary problem. In: BALÉE, W. (Ed.). *Advances in historical ecology*. New York: Columbia University Press, 1998. p. 190-212.

_____. Twelve thousand years of human-environment interaction in the Amazon Floodplain. In: PADOCH, C. et al (Ed.). *Várzea: diversity, development and conservation of Amazonia's whitewater floodplains*. New York: New York Botanical Garden Press, 1999. p. 371-392. (Advances in economic botany).

_____. The Lower Amazon: A dynamic human habitat. In: LENTZ, D. L. (Ed.). *Imperfect Balance: Landscape transformations in the precolumbian Americas*. New York: Columbia University Press, 2000. p. 455-491.

_____. Arqueologia Amazônica. In: CUNHA, M. C. (Ed.). *História dos índios no Brasil*. São Paulo: Cia. das Letras, 2002. p. 53-86.

ROOSEVELT, A. C. et al. Paleoindian cave dwellers in the Amazon: The peopling of the Americas. *Science* [S.I.], n. 272, p. 373-384, 1996.

ROSCOE, R., CARLOS et al. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. *Geoderma* [S.I.], v. 104, n. 3-4, p. 185-202, 2001.

ROSENZWEIG, M. L. Paradox of enrichment: destabilization of exploitation ecosystems in ecological time. *Science* [S.I.], v. 171, p. 385, 1971.

ROSSEL, R. A. et al. Humic acids properties of na Argiudoll soil under two tillage systems. *Sci. Total Environ* [S.I.], v. 81/82, p. 391-400, 1989.

ROSSETTI, D. F. et al. Reconstructing habitats in Central Amazonia using megafauna, sedimentology, radiocarbon and isotope analysis. *Quaternary Research* [S.I.], v. 61, p. 289-300, 2004.

ROUSSELL, E. J. The fertility of the soil. Cambridge: Cambridge University Press, 1915.

RUIVO, M. D. L. P. Vegetação e Características do Solo como Indicadores de Reabilitação de áreas mineradas na Amazônia Oriental. (1998). 107 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 1998.

RUIVO, M. D. L. P. et al. População microbiana em solo terra preta arqueológica: um indicativo da qualidade do solo. In: 9 Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belém. 2003. p.232-233.

RUIVO, M. L. P. et al. The use of micromorphology for the study of the formation and properties of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). Amazonian Dark earths: Origin, properties and management. Dordrecht,: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 243-254.

RUSSEL, E. J. The fertility of the soil. Cambrigde: Cambridge University Press, 1915.

SAADI, A. et al. Neotectônica da plataforma brasileira. In: SOUZA, C. R. G. et al (Ed.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. p. 211-234.

SALANTAUSTA, Y. et al. Bio-Fuel Oil upgrading by hot filtration and Novel Physical Methods. 2000.

SALDARRIAGA, J. G.; WEST, D. C. Holocene fires in the northern Amazon basin. Quaternary Research [S.I.], v. 26, p. 358-366, 1986.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. A pollen diagram of the Pleistocene - Holocene boundary of Lake Valencia, Venezuela. Rev. Paleob. Palynol [S.I.], v. 30, p. 297, 1980.

_____. Climatic change at the Pleistocene - Holocene boundary. In: PRANCE, G. T. (Ed.). Biological diversification in the tropics. New York: Columbia University Press, 1982. Cap.77. p. 74.

SALO, J. Pleistocene refuges in the Amazon: evaluation of the biostratigraphical, lithostratigraphical and geomorphological data. Ann. Zool. Fenicci [S.I.], v. 24, p. 203, 1987.

SÁNCHEZ, P. A. Properties and Management of Soils in the Tropics. New York: John Willey 1976.

SANCHEZ, P. A.; COCHRANE, T. T. Soils constraints in relation to major farming systems of tropical America. International Rice Research Institute [S.I.], p. 106-139, 1980.

SANCHEZ, P. A. et al. Soil fertility dynamics after clearing tropical rainforest in Peru. Soil Sci. Soc. Am. J. [S.I.], v. 47, p. 1171-1178, 1983.

SANDOR, J.; FURBEE, L. Indigenous knowledge and classification of soils in the Andes of southern Peru. Soil Science Society of America Journal [S.I.], v. 60, p. 1502-1512, 1996.

SANT'ANNANETO, J. L.; NERY, J. T. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In: SOUZA, C. R. G. et al (Ed.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. p. 28-51.

SANTOS, J. O. S. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L. A. et al (Ed.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília: CPRM, 2003. p. 169-226.

- SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. *Acta Amazonica* [S.I.], v. 18, n. 3-4, p. 145-172, 1988.
- SCHAAN, D. Into the labyrinths of Marajoara pottery. In: MCEWAN, C. et al (Ed.). *Unknown Amazon*. London: The British Museum Press, 2001. p. 108-133.
- SCHAEFER, C. E. G. R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Australian Journal of Soil Research* [S.I.], v. 39, p. 1, 2001.
- SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. *Australian Journal of Soil Research* [S.I.], v. 42, p. 401, 2004.
- SCHENKEL, Y. et al. An Evaluation of thre Mound Kiln Carbonization Technique. *Biomass and Bioenergy* [S.I.], v. 14, n. 5/6, p. 505-516, 1998.
- SCHIMDT, M. W. I. et al. Comparative analysis of black carbon in soil. *Global Biogeochemical Cycles* [S.I.], v. 15, p. 163, 2001.
- SCHIMEL, D. et al. Radiative forcing of climate change. In: HOUGHTON, J. T. et al (Ed.). *Climate Change 1995: The science of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 65-131.
- SCHMIDT, M. et al. Impact of brown coal dust on the organic matter in particle-size fractions of a Mollisol. *Org. Geochem.* [S.I.], v. 25, p. 29-39, 1996.
- SCHMIDT, M. W. I.; NOACK, A. G. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biochem Cycles* [S.I.], v. 14, p. 777-793, 2000.
- SCHMIDT, M. W. J. et al. Charred organic carbon in German chernozemic soils. *Eur. J. Soil. Sci.* [S.I.], v. 50, p. 351-365, 1999.
- SCHNELL, I. Strandlingebestamningar och Markanalys. *Fornvännen* [S.I.], v. 27, p. 40-47, 1932.
- SCHNITZER, M.; GUPTA, U. C. Determination of acidity in soil organic matter. *Science Society Proc* [S.I.], v. 27, p. 274-277, 1965.
- SCHNITZER, M.; KHAN, S. U. *Soil organic Matter*. Amsterdam: Elsevier, 1978.
- SCHROT, G. et al. Soil nutrient availability and acidity. In: SCHROTH, G.; SINCLAIR, F. L. (Ed.). *Cambridge: CABI Publishing*, 2002. p. 93-130.
- SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. A state of the art structural concept for humic substances. *Naturwissenschaften* [S.I.], v. 80, p. 29-30, 1993.
- SCHULTZ, E. D.; FREIBAUER, A. Unlocking carbon from soils. *Nature* [S.I.], v. 237, p. 205, 2005.
- SCHULZE, D. G. et al. Significance of organic matter in determining soil colors. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. (Ed.). *Soil color*. Madison: SSSA, 1993. p. 71-90.
- SCHWARTZ, G. T. A simplifield chemical test for archaeological field work. *Archaeometry* [S.I.], v. 10, p. 57-63, 1967.

- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bondes durch photochemische extraktion mit saurer ammonium-oxalat-Lösung. Z. Pflanzen Bodenk [S.I.], v. 105, p. 194-202, 1964.
- _____. The influence of aluminum on iron oxides. XL Aluminum- substituted maghemite in soils and its formation. Soil Sci. Soc. Am. J [S.I.], v. 48, p. 1462-1463, 1984.
- SCUDDER, S. J. et al. Soil Science and Archaeology. Advances in Agronomy [S.I.], v. 57, p. 1-76, 1996.
- SEDA, P. Muito mais de 500 anos: desenvolvimento cultural na pré-história brasileira - breve panorama. Boletim do Instituto de Arqueologia Brasileira [S.I.], n. 11, p. 1-27, 2001.
- SEIBERT, S. F. Hillside farming, soil erosion, and forest conservation in two Southeast Asian national parks. Mt. Res. Dev. [S.I.], v. 10, p. 64-72, 1990.
- SEILER, W.; CRUTZEN, P. J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning Climatic Change. Dordrecht, 1980.
- SENNA, C. S. F. Mudanças da paleovegetação e dos paleoambientes holocênicos da planície costeira da região nordeste do Estado do Pará, entre as baías de Marapanim e Maracanã. (2002). 115 f. Tese de doutorado - Doutorado em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2002.
- SENNA, C. S. F.; ABSY, M. L. Paleoecologia. In: FERNANDES, M. E. B. (Ed.). Os manguezais da costa norte brasileira. Maranhão: Fundação Rio Bacanga, 2003. Cap.44. p. 29.
- SERGIO, C. S. et al. Identification and characterization of maghemite in ceramic artifacts and archaeological black earth of Amazon region. Soil Science [S.I.], v. 171, n. 1, p. 59-64, 2006.
- SHEUYANGE, A. et al. Effects of anthropogenic fire history on savanna vegetation in northeastern Namibia. J. Environ Manage [S.I.], v. 75, p. 189, 2005.
- SHINDO, H. et al. Humus composition of charred plant residues. Soil Science and Plant Nutrition [S.I.], v. 32, p. 475-478, 1986a.
- _____. A possible source of humic acid in volcanic ash soils in Japan-charred residue of Miscanthus sinensis. Soil Science [S.I.], v. 141, p. 84-87, 1986b.
- SHNEOUR, E. A. Oxidation of graphitic carbon in certain soils. Science [S.I.], v. 151, p. 991-992, 1966.
- SHOEMAKER, H. E. et al. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Science Society of America Proceedings [S.I.], v. 25, p. 274-277, 1961.
- SILLITOE, P. Knowing the land: Soil and land resource evaluation and indigenous knowledge. Soil Use and Management [S.I.], v. 14, p. 188-93, 1988.
- SILVA, A. J. N. et al. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um argissolo amarelo de tabuleiro costeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo [S.I.], v. 29, p. 833-842, 2005.

- _____. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [S.I.], v. 10, n. 1, p. 76-83, 2006.
- SILVA, A. P. et al. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], v. 58, p. 1775-1781, 1994.
- SILVA, B. N. R. D. et al. Os solos da área Cacau-Pirêra - Manacapuru. Belém: IPEAN, 1970. (Solos da Amazônia).
- SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.
- SILVA, R. P. D. et al. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* DEG). *Revista Brasileira de Fruticultura* [S.I.], v. 23, n. 2, p. 377-381, 2001.
- SILVA, S. A. F. D. Palinologia do Neógeno da Amazônia sul ocidental, Brasil. (2004). 105 f. Dissertação de mestrado - Mestrado em Botânica, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2004.
- SIMBERLOFF, D. The biology of invasions. In: SIMBERLOFF, D. et al (Ed.). *Strangers in paradise: impact and management of nonindigenous species in Florida*. Washington: Island Press, 1997b. p. 317.
- SIMBERLOFF, D. et al. *Strangers in paradise: Impact and management of nonindigenous species in Florida*. Washington: Island Press, 1997.
- SIMÕES, M. F. O Museu Goeldi e a arqueologia da Bacia Amazônica. In: R, C. (Ed.). *Antologia da cultura Amazônica*. São Paulo, 1972. Cap.180. p. 172. (Amazônia Edições Culturais).
- _____. Coletores-pescadores ceramistas do litoral do Salgado (Pará). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* [S.I.], v. 78, p. 1-26, 1981.
- _____. A pré-história da Bacia Amazônica: Uma tentativa de reconstituição *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1982. Cap.21. p. 5.
- SIMÕES, M. F.; CORRÊA, C. G. Pesquisas arqueológicas no baixo Uatumã-Jatapu (Amazonas). *Revista de Arqueologia* [S.I.], v. 4, n. 1, p. 29-48, 1987.
- SIMPSON, M. J. et al. Comparison of polycyclic aromatic hydrocarbon distribution and sedimentary organic matter characteristics in contaminated, coastal sediments from Pensacola Bay. *Marine Environmental Research* [S.I.], v. 59, p. 139, 2004.
- SIMPSON, M. J.; HATCHER, P. G. Determination of black carbon in natural organic matter by chemical oxidation and solid-state ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 35, p. 923-935, 2004a.
- _____. Overestimates of black carbon in soils and sediments. *Naturwissenschaften* [S.I.], v. 91, p. 436-440, 2004b.
- SINGER, L. S. Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in Electron Paramagnetic Resonance. *Journal of Applied Physics* [S.I.], v. 30, p. 1463-1464, 1959.

- SIOLI, H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river basin. Dordrecht: Dr. W. Junk, 1984.
- SIPPEL, S. J. et al. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain, Brazil. Arch. Hydrobiology [S.I.], n. 123, p. 385-400, 1992.
- SIQUEIRA, C. et al. Eletroquímica de solso tropicais de carga variável II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponte de carga zero. Revista Brasileira de Ciência do Solo [S.I.], v. 13, p. 13-17, 1990.
- SIRAD, I. www.ibge.gov.br. v. 2007. n. 01 de setembro de 2007: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007.
- SIX, J. et al. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biol. Biochem. [S.I.], v. 32, p. 2099-2103, 2000.
- SJOBERG, A. Phosphate analysis of antropic soils. Journal Field Archaeology [S.I.], v. 3, p. 447-454, 1976.
- SKEJMSTAD, J. D.; TAYLOR, J. A. Does the Walkley-Black methods determine soil charcoal? Communications Soil Science and Plant Analysis [S.I.], v. 30, p. 2299, 1999.
- SKEJMSTAD, J. O. et al. The chemistry and nature of protected carbon in soil. Aust. J. Soil Res. [S.I.], v. 34, p. 251, 1996.
- _____. Charcoal carbon in US agricultural soil. Soil Science Society of the America Journal [S.I.], v. 66, p. 1249, 2002.
- _____. Estimation of charcoal (char) in soil. Communications in Soil Science Society of America Journal [S.I.], v. 66, p. 2283-2298, 1999.
- SKJEMSTAD, J. O.; GRAETZ, R. D. The impact of burning on the nature of soil organic matter in Australia. Agronomina [S.I.], v. 37, n. 2, p. 85, 2003.
- SMERNINK, R. J. et al. Virtual fractionation of charcoal from soil organic matter using solid state ^{13}C NMR spectral editing. Australian Journal of Soil Research [S.I.], v. 38, p. 665, 2000.
- SMITH, D. M.; CHUGHTAI, A. R. The surface-structure and reactivity of black carbon. Colloids and Surfaces [S.I.], v. 105, p. 47-77, 1995.
- SMITH, E. A.; WISHNIE, M. Conservation and subsistence in small-scale societies. Ann. Rev. Anthropol. [S.I.], v. 29, p. 493, 2000.
- SMITH, H. The Amazons and the coast. Charles Scribner's Sons [S.I.], 1879.
- SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazônia Annals of the Association of American Geographers [S.I.], v. 70, p. 553, 1980.
- SMYKATZ-KLOSS, W. Differential thermal analysis. Berlim: Springer-Verlag, 1974.
- SOHI, S. P. et al. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. Soil Sci. Soc. Am. J. [S.I.], v. 65, p. 1121-1128, 2001.

SOKOLOFF, V. P.; CARTER, G. F. Time and trace metals in archaeological sites. *Science* [S.I.], v. 116, p. 1-5, 1952.

SOLECKI, R. S. Notes on soil analysis and archaeology. *American Antiquity* [S.I.], v. 16, p. 254-256, 1951.

_____. (Ed.) Exploration of an Adena Mound at Natrium, West Virginia. *Anthropological Paper. Bureau of American Ethnology Bulletin*, v.151. Washington, v.40, p.313-395, *Anthropological Paper. Bureau of American Ethnology Bulletin*, v.151ed. 1953.

SOLLINS, P. et al. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. *Geoderma* [S.I.], v. 74, p. 65-105,, 1996.

SOLTANPOUR, P. N. et al. Use of inductively-coupled plasma spectrometry for the simultaneous determination of macro and micronutrients in NH_4HCO_3 -DTPA extracts of soils. *Soil Science Society American Journal* [S.I.], v. 43, p. 75-78, 1979.

SOMBROEK, W. Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 30, p. 81, 2000.

SOMBROEK, W. et al. Terra preta and terra mulata: Pre-columbian Amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication. In: *Congresso Mundial de Ciência do Solo, Bangkok. ISSS, 2002. p.14.*

_____. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2003. Cap.139. p. 125.

SOMBROEK, W. G. Amazon soil: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen: Centre for Agricultural Publications and Documentation, 1966.

_____. Aspects of soil organic matter and nutrient cycling in relation to climate change and agricultural sustainability *Proceedings Intern. Symposium on nuclear and related techniques in soil-plant studies on sustainable agriculture and environmental preservation*. Vienna: IAEA/FAO Joint Division, 1995. p. 15-26.

SOMBROEK, W. G. et al. Geographic assessment of carbon stored in Amazonian terrestrial ecosystems and their soils in particular. In: LAL, R. et al (Ed.). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Boca Raton: Advances in Soil Science CRC Press, 2000. Cap.389. p. 375.

_____. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* [S.I.], v. 22, p. 417-426, 1993.

SOUZA, G. K. A.; FALCÃO, N. P. S. Avaliação da disponibilidade de fósforo, por diversos extratores, em amostras de solos de terra preta cultivados com milho. In: *XII Jornada de Iniciação Científica - PIBIC / INPA, Manaus, AM. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 2003. p.137-138.*

SOUZA, G. K. A. D. et al. Growth of *Crajiuru* (*Arrabidaea chica* Verlot.) in different growing media. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais* [S.I.], v. 8, p. 61 - 65, 2006.

SOUZA, L. A. G. et al. Associações rizóbios-arbóreas na Amazônia. In: NODA, H. et al (Ed.). Duas décadas de contribuições do INPA à pesquisa agrônômica no trópico úmido. Manaus: INPA, 1997. p. 193-220.

SOUZA, L. F. et al. Relação entre a fertilidade e as substâncias húmicas numa terra preta da Amazônia. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto, SP. 2003.

SPATH, P. L.; DAYTON, D. C. Preliminary screening-technical and economic assessment of synthesis gas to fuels and chemicals with emphasis on the potential for biomass-derived syngas. <http://www.osti.gov/brige>, p.160, 2003. Disponível em:<<http://www.osti.gov/bridge>>. Acesso em: 01/08/2007.

SPOSITO, G. The Chemistry of Soils. New York: Oxford University, 1989.

SPURR, H. S.; BARNES, B. V. Forest ecology. 2. ed. New York: The Ronald Press Company, 1973.

STEINER, C. Slash and char as alternative to slash and burn - Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish a carbon sink. (2007). 187 f. PhD Thesis - Chemistry and Geosciences Faculty of Biology, University of Bayreuth, Germany, Bayreuth, 2007.

STEINER, C. et al. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered Xanthic Ferralsol. *Pedobiologia* [S.I.], v. 51, p. 359, 2008.

_____. Effects of charcoal as slow release nutrient carrier on N-P-K dynamics and soil microbial population: pot experiments with Ferralsol substrate. In: WOODS, W. I. et al (Ed.). *Terra Preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek*. Berlim: Springer, 2009. Cap.338. p. 325.

_____. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered Central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* [S.I.], v. 47, n. 4, p. 218, 2008.

_____. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil* [S.I.], v. 291, p. 275 - 290, 2007.

_____. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia: Preliminary results. In: WOODS, B. G. A. W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: explorations in space and time*. Springer, Berlim, 2004. p. 195-212.

_____. Indigenous knowledge about Terra Preta formation. In: WOODS, W. I. et al (Ed.). *Terra Preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek*. Berlim: Springer, 2009.

_____. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in central Amazonia: Preliminary results. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonia Dark Earths: Explorations in space and time*. Berlim: Spriger, 2004. Cap.194. p. 183.

_____. Slash and char: an alternative to slash and burn practiced in the basin. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: explorations in space and time*. Berlim: Springer, 2004. Cap.193. p. 183.

_____. The effect of charcoal in Banana (*Musa* sp.) planting holes. In: WOODS, W. I. et al (Ed.). *Terra Preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek*. Berlim: Springer, 2009. Cap.204. p. 193.

STENBERG, H. O. R. A água e o homem na várzea do Careiro. (1956). Tese de concurso à Cadeira de Geografia do Brasil da Faculdade Nacional de Filosofia, Faculdade Nacional de Filosofia, Rio de Janeiro, 1956.

STEVENSON, F. J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, ReactionS. 2. ed. New York: Wiley, 1994.

STOCKS, A. Cocamilla fishing: Patch modification and environmental buffering in the Amazon. In: HAMES, R. B.; VICKERS, W. T. (Ed.). Adaptive responses of native Amazonians. New York: Academic Press, 1983.

STOUT, J. D. et al. Chemistry and turnover of naturally occurring resistant organic compounds in soil. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 1-73.

SUGUIO, K. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (Passado+Presente = Futuro ?). São Paulo: São Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

SUGUIO, K. et al. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: SOUZA, C. R. G. et al (Ed.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. p. 114-129.

SUGUIO, K.; SALLUN, A. E. M. Geologia do Quaternário e geologia ambiental. In: MANTESSO NETO, V. et al (Ed.). Geologia do continente sul-americano. São Paulo: Beca, 2004. p. 461-469.

SWAMI, S. N. et al. Charcoal making in the Brazilian Amazon: economic aspects of production and carbon conversion efficiencies of kilns. In: WOODS, W. I. et al (Ed.). Terra Preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek. Springer: Dordrecht, 2009. Cap.422. p. 411.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. et al (Ed.). Methods of soil analysis. Part 3. Madison: SSSA/ASA, 1996. p. 1011-1020. (SSSA Book Series, 5).

TAMM, C. O. Nitrogen in terrestrial ecosystems. New York: Springer, 1991.

TATE, K. R. et al. Relationships between the type and carbon chemistry of humic acids from some New Zealand and Japanese soils. Soil Science and Plant Nutrition [S.I.], v. 36, p. 611-621, 1990.

TEIXEIRA, D. M.; PAPAVERO, N. Os primeiros documentos sobre a história natural do Brasil (1500-1511) - Viagens de Pinzón, Cabral, Vespucci, Albuquerque, do Capitão de Gonville e da Nau Bretoa. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002.

TEIXEIRA, W. G. O manejo do solo pelas populações pré-colombianas na Amazônia Brasileira: vestígios deixados nas Terras Pretas de Índio e Terras Mulatas. In: EMBRAPA (Ed.). I Reunião Amazônica de Agroecologia: A agroecologia no contexto Amazônico. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p. 47 - 55.

TEIXEIRA, W. G.; W. I. Terra Preta de Índio: myths and facts about the antropic soils in the Amazon basin. In: V Congreso de Arqueología en Colombia, Medellín. Universidad de Antioquia / Sociedad Colombiana de Arqueologia, 2008. p.156 - 157.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). Amazonian Dark Earths - Origin, properties management. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2003. Cap.286. p. 271.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. Caracterização de Terras Preta de Índio no médio Rio Urubu - Município de Rio Preto da Eva - AM. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife. SBSCS, 2005. CD-ROMv. p.1-4.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. Caracterização das Terras Pretas de Índio da área do Distrito Agropecuário da SUFRAMAServiço Geológico do Brasil - CPRM. Pedologia. Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Agropecuário da SUFRAMA. Manaus: CPRM, 2006. p. 1-8.

TEIXEIRA, W. G. et al. As Terras Pretas de Índio no Distrito Agropecuário da Suframa. Suframa. Manaus, p.1-13. 2005

_____. An Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian Amazon. In: MORCOTE-RIOS, G. (Ed.). Pueblos y paisajes antiguos de la selva Amazónica. Bogotá, Universidad Nacional e Colombia / Taracaxum, 2006. Cap.300. p. 293.

_____. The link between Terra Preta de Índio and the use of charcoal to improve soil quality. In: Energy & Agricultural Carbon Utilization: sustainable alternatives to sequestration, Athens. CD - ROM, 2004.

TERRY, R. E. et al. The Story in the Floors: Chemical Signatures of Ancient and Modern Maya Activities at Aguatéca, Guatemala. Journal of Archaeological Science [S.I.], v. 31, p. 1237-1250, 2004.

THINON, M. Phytoécologie-la pédoanthracologie: une nouvelle méthode d'analyse phytocronologique depuis de néolithique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences série D [S.I.], p. 1203-1206, 1978.

THURSTON, H. D. Slash/mulch systems: sustainable methods for tropical agriculture. Boulder: Westview Press, 1997.

TIESSEN, H. et al. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. Nature [S.I.], v. 371, p. 783-785, 1994.

TIWARI, R. K. Higher order eccentricity cycles of the late and mid Miocene climatic variations. Nature [S.I.], v. 327, p. 219, 1987.

TOPOLIANTZ, S. et al. Effect of organic and endogenic earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta: Glossoscolecidae) on soil fertility and bean production. Biol. Fertil. Soils & Fertilizers [S.I.], v. 36, p. 313-319, 2002.

_____. Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. Biol. Fertil. Soils [S.I.], v. 41, p. 15-21, 2005.

TOWNSEND, A. R. et al. Tropical soils could dominate the short-term carbon cycle feedbacks to increase global temperatures. Climatic Change [S.I.], v. 22, p. 293, 1992.

TOWNSEND, W. Nyao Itô: Caza y pesca de los Sirionó. La Paz: Instituto de Ecología - Universidad Mayor de San Andrés, 1996.

TROMPOWSKY, P. M. et al. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of Eucalyptus charcoal. Organic Geochemistry [S.I.], v. 36, p. 1480-1489, 2005.

- _____. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. *Organic Geochemistry* [S.I.], v. 36, p. 1480-1489, 2005.
- TRUCKENBRODT, W. et al. Composition and origin of the clay cover in north Brazilian laterites. *Geologische Rundschau* [S.I.], n. 80, p. 591-610, 1991.
- TRUMBORE, S. E. et al. The rates of carbon cycling in several soils from AMS ^{14}C measurements of fractionated soil organic matter. In: BOUMAN, A. F. (Ed.). *Soils and the Greenhouse Effect*. John Wiley & Sons. New York, E.U.A, 1990. p. 407-414.
- _____. Below-ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles* [S.I.], v. 9, n. 4, p. 515, 1995.
- TRYON, E. H. Effects of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecol. Monogr.* [S.I.], v. 18, p. 81-115, 1948.
- TSCHUDY, R. H.; SCOTT, R. A. *Aspects of palynology*. New York: John Wiley & Sons, 1969.
- TSUZUKI, E. et al. Effect of chemical compounds in pyroligneous acid on root growth in rice plant. *Japan Journal Crop Science* [S.I.], v. 66, n. 4, p. 15-16, 2000.
- TURNER, R. C.; RICE, H. M. Role of fluoride ion in release of phosphate adsorbed by Al and Fe hydroxide. *Soil Science* [S.I.], v. 74, p. 141-148,, 1954.
- UHL, C. et al. Early plant succession after cutting and burning in the Upper Rio Negro of the Amazon Basin. *J. Ecol.* [S.I.], v. 69, p. 631-649, 1981.
- ULERY, A. L. et al. Forest fire effects on phyllosilicates. *Soil Science Society of America Journal* [S.I.], v. 60, p. 309-315, 1996.
- UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://www.unfccc.de>, 1992.
- USDA. Soil conservation Service Soil Survey Staff. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for marking and interpretation soil survey*. Washington, 1975.
- _____. *Soil survey - Laboratory Methods Manual* Soil Survey Investigations Report, 1996. p. 693.
- USSIRI, D. A. N.; JOHNSON, C. E. Characterization of organic matter in a northern hardwood forest soil by ^{13}C NMR spectroscopy and chemical methods. *Geoderma* [S.I.], v. 111, p. 123, 2003.
- VAN DER HAMMEN, T. Palaeoecology of tropical South America. In: PRANCE, G. T. (Ed.). *Biological diversification in the tropics*: Columbia University Press, 1982. Cap.66. p. 60.
- _____. Ice age tropical South America: What was it really like? *Amazoniana* [S.I.], v. 16, n. 3/4, p. 647, 2001.
- VAN DER HAMMEN, T.; ABSY, M. L. Amazonia during the Last Glacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [S.I.], v. 109, p. 247, 1994.
- VAN DER HAMMEN, T.; HOOGHMESTRA, H. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate and plant diversity in Amazônia. *Quaternary Science Reviews* [S.I.], v. 19, p. 725, 2000.

- VAN DER MERWE, N. J.; STEIN, P. H. Soil chemistry of postmolds and rodent burrows: Identification without excavation. *American Antiquity* [S.I.], v. 37, p. 224, 1972.
- VAN GEEL, B.; VAN DER HAMMEN, T. Upper Quaternary vegetational and climatic sequence of the Fúquene area (Eastern Cordillera, Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [S.I.], v. 14, p. 9, 1973.
- VAN LEEUWEN, J.; GOMES, J. B. M. O pomar caseiro na região de Manaus, Amazonas, um importante sistema agroflorestal tradicional. IAPAR, 1995. (Actas II Encontro da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção).
- VAN WAATERINGE, G. W.; ROBISON, M. (Eds.) *Man made soils*. BAR international Series, n. 410. Oxford: British Archaeological Reports, p.224, BAR international Series, n. 410ed. 1988.
- VAN WABEKE, A. *Soils of the Tropic: Properties and Appraisal*. New York: McGraw-Hill, 1992.
- VANZOLINI, P. E. *Zoologia sistemática, geografia e a origem das espécies*. (1970). 56 f. Monografia - Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1970.
- _____. Paleoclimates, Relief, and Species Multiplication in Equatorial Forest. In: MEGGERS, B. J. E. A. (Ed.). *Tropical Forests Ecosystems in Africa and South America. A Comparative Review*. Washington: Smithsonian Press, 1973. p. 225-258.
- VARELLA, M. D. *Diversidade biológica e conhecimentos tradicionais*. Belo Horizonte: Del Rey, 2004.
- VERADO, D. J. C. harcoal analysis in marine sediments. *Limnology and Oceanography* [S.I.], v. 42, p. 192-197, 1997.
- VERDONCK, O. et al. The influence of the substrate to plant growth. *Acta Horticulturae* [S.I.], v. 150, p. 467-473, 1981.
- VERSLYPE, L.; BRULET, R. (Eds.) *Terres noires dark earth: actes de la table-ronde internationale tenue à Louvain-la-Neuve*. Louvain: Université Catholique de Louvain, p.nped. 2001.
- VETTORI, L. *Métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969.
- VIEIRA, I. C. G. *Forest succession after shifting cultivation in Eastern Amazonia*. (1996). PhD Thesis, University of Stirling, Stirling, 1996.
- VIEIRA, I. C. G. et al. (Eds.) *Biological and cultural diversity of Amazonia*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. 2001.
- VIEIRA, L. S. *Manual da Ciência do Solo*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1975.
- _____. *Manual da ciência do solo - Com ênfase aos solos tropicais*. 2. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1988.
- VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: Editora Ceres, 1987.

- VON STOKAR, W. Prehistoric organic remains. *Antiquity* [S.I.], v. 12, p. 82 - 86, 1938.
- WADA, K. Allophane and imogolite. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). *Minerals in soil environments*. Madison: Soil Sciences Society of America, 1989. Cap.1087. p. 1051.
- WAKSMAN, S. A. *Humus*. Baltimore: Williams and Wilkins, 1936.
- WALKER, L. R.; DEL MORAL, R. *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- WANDER, M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: MAGDOFF, F.; WEIL, R. (Ed.). *Advances in Agroecology*. Boca Raton: CRC Press, 2004. p. 67-102.
- WARDLE, D. A. et al. The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Oecologia* [S.I.], v. 115, p. 419-426, 1998.
- WARNECKE, R. Gasification of biomass: Comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier. *Biomass and Bioenergy* [S.I.], v. 18, n. 6, p. 489-497, 2000.
- WARREN, D. M. A Preliminary Analysis of Indigenous Soil Classification and Management Systems in Four Ecozones of Nigeria. In: *Discussion Paper RCMD 92/1*, Ibadan, Nigeria. IITA, 1992.
- WATERS, M. R. *Principles of Geoarchaeology - a North American perspective*. Tucson: The University of Arizona Press, 1992.
- WELLS, E. C. et al. Chemical analyses of ancient anthrosols in residential áreas at Piedras Negras, Guatemala. *Journal of Archaeological Science* [S.I.], v. 27, p. 449, 2000.
- WHITEHEAD, N. Amazonian Archaeology: Searching for Paradise? A Review of Recent Literature and Fieldwork. *Journal of Archaeological Research* [S.I.], v. 4, n. 3, p. 241-264, 1996.
- WHITEHEAD, N. L. The ancient amerindian politics of the Amazon, the Orinoco, and the Atlantic Coast: A preliminary analysis of their passage from antiquity to extinction. In: ROOSEVELT, A. C. (Ed.). *Amazonian Indians from prehistory to the present: Anthropological perspectives*. Tucson: University of Arizona Press, 1994. p. 33-53.
- WIESENMÜLLER, J. et al. Modeling of fine root distribution under secondary vegetation in NE Amazonia - a qualitative and quantitative assessment. In: LIEBEREI, R. et al (Ed.). *Proceedings of the Third SHIFT-Workshop*. Bonn, Alemanha: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), 1998. Cap.189. p. 185.
- WIJMSTRA, T. A. Palynology of the alliance well. *Geol. en Mijnbouw* [S.I.], v. 48, p. 125, 1969.
- _____. The palynology of Guiana coastal basin. (1971). 62 f. Ph. D. Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, 1971.
- WIJMSTRA, T. A.; VAN DER HAMMEN, T. Palynological data on the history of tropical savannas in northern South America. *Leidse Geol. Meded.* [S.I.], v. 38, p. 71, 1966.
- WINGE, M. et al. Glossário geológico. p.np, 2001. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/glossario/>>.

- WINKLERPRINS, A. M. G. A. House-lot gardens in Santarém, Pará, Brazil. *Urban Ecosystems*. Linking rural with urban [S.I.], v. 6, p. 43-65, 2002.
- _____. Urban house-lot gardens and agrobiodiversity in Santarém, Pará, Brazil: Spaces of conservation that link urban with rural. In: ZIMMERER, K.; SAADI, A. (Ed.). *Globalization and new geographies of conservation*. Chicago: University of Chicago Press, 2006. p. 121-140.
- WINKLERPRINS, A. M. G. A.; SOUZA, P. S. Surviving the city: Urban home gardens and the economy of affection in the Brazilian Amazon. *Journal of Latin American Geography* [S.I.], v. 4, n. 1, p. 107-126, 2005.
- WISE, L. E. *Wood chemistry*. (1944). 97 f. Monograph - American Chemical Society, 1944.
- WOLBACH, W. S.; ANDERS, E. Elemental carbon in sediments: determination and isotopic analysis in the presence of kerogen. *Geochim. Cosmochim. Acta* [S.I.], v. 53, p. 1637-1647, 1989.
- WOLBACH, W. S. et al. Cretaceous extinctions: evidence for wildfires and search for meteoritic material. *Science* [S.I.], v. 230, p. 167-170, 1985.
- WOOD, G. D. et al. Palynological techniques - processing and microscopy. In: JANSONIUS, J. et al (Ed.). *Palynology: principles and applications*. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation,, 1996. p. 29-50.
- WOODS, W. I. The quantitative analysis of soil phosphate. *American Antiquity* [S.I.], v. 42, p. 248-252, 1977.
- _____. Soil chemical investigations in Illinois archaeology: two example studies. *Archaeological Chemistry* [S.I.], v. 3, p. 67, 1984.
- WOODS, W. I.; DENEVAN, W. Discovery, study, and bibliography of Amazonian Dark Earths, 1870s-1970s. In: HERLIHY, P. H.; REVELS, C. S. (Ed.). *Ethno and Historical Geographic Studies in Latin America: Essays Honoring William V. Davidson*. Baton Rouge: Geoscience Publications (Published in 2008), 2006. Cap.298. p. 283. (Geoscience and Man series).
- WOODS, W. I.; MANN, C. C. Earth movers of the Amazon. *Science* [S.I.], v. 287, p. 786-789, 2000.
- WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. In: *The Yearbook of the Conference of Latin American Geographers*, Austin. University of Texas, 1999. p.7-14.
- _____. Origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonía. In: HIRAOKA, M.; MORA, S. (Ed.). *Desarrollo sostenible en la Amazonía: Mito o realidad?* Quito: Abya-Yala, 2001.
- WOODS, W. I. et al. Amazonian Dark Earth analysis: State of knowledge and directions for future research. *Papers and Proceedings of the Applied Geography Conference* [S.I.], v. 23, p. 114-120, 1999.
- YARIV, S.; CROSS, H. *Geochemistry of colloid systems*. Berlin: Springer, 1979.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* [S.I.], v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZABEL, D. E. Phosphate and pH analysis of soil at a Kansas city Hopewell Site (23PL4). In: JOHNSON, A. E. (Ed.). Hopewellian archaeology in the Lower missouri River Valley. Lawrence: University of Kansas Publications in Anthropology, 1976. p. 110-115.

ZACHOS, J. et al. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* [S.I.], v. 292, n. 5517, p. 686-693, 2001.

ZECH, W.; GUGGENBERGER, G. Organic matter dynamics in forest soils of temperate and tropical ecosystems. In: PICCOLO, A. (Ed.). Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. p. 101-170.

ZECH, W. et al. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: MCCARTHY, P. et al (Ed.). Humic substances in soil and crop sciences: Selected Readings. Madison: ASA/SSSA, 1990. p. 187-201.

_____. Analytische Kennzeichnung vom Terra Preta do Índio. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* [S.I.], v. 29, p. 709, 1979.

ZENT, E. L.; ZENT, S. Amazonian Indians as ecological disturbance agents: The Hoti of Sierra de Maigulaida Venezuelan Guayana. In: MAFFI, L.; CARLSON, T. J. S. (Ed.). Ethnobotany and conservation of biocultural diversity. New York: New York Botanical Garden, 2004. Cap.111. p. 79.

ZSOLNAY, A. et al. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. *Chemosphere* [S.I.], v. 38, p. 45-50, 1999.

ZUCCHI, A. A new model of northern Arawak expansion. In: HILL, J.; GRANERO, S. S. (Ed.). Comparative Ararwakan History. Champaign: Univeristy of Illinois, 2002. Cap.222. p. 199.

Comissão Editorial

Adriana Horbe (UFAM)

Amanda Lima (Centro de Energia Nuclear na Agricultura)

Ana Claudia Nogueira (SIPAM - UFAM)

Ângelo Mansur Mendes (Embrapa Rondônia)

Bruno Turcq (UFF)

Beáta Emöke Madari (Embrapa Solos)

Dirse Clara Kern (MPEG)

Denise Schaam (MPEG atualmente na UFPA)

Edgar Shinzato (CPRM - RJ)

Eduardo Lleras Pérez (Embrapa Amazônia Ocidental)

Hedinaldo Narciso Lima (UFAM)

Humberto Gonçalves dos Santos (Embrapa Solos)

Isolda Maciel da Silveira (MPEG)

João José de Melo Marques (UFLA)

Goetz Schroth (Conservation International - EUA)

Lilian Rebellato (Universidade do Kansas)

Maria Adelaide Mansini Maia (CPRM - Manaus)

Maria Lúcia Absy (INPA)

Marcelo Eduardo Dantas (CPRM - RJ)

Marcos Horbe (CPRM - Manaus)

Noélia Falcão (INPA - Manaus)

Pedro Machado (Embrapa Solos)

Rodolfo Dino (Petrobras - CENPES)

Tony Jarbas Ferreira Cunha (Embrapa Solos

Vinicius de Melo Benites (Embrapa Solos)

Wenceslau Geraldes Teixeira (Embrapa Amazônia Ocidental)

Tradutores

Amanda Lima (Centro de Energia Nuclear na Agricultura)

Eduardo Lleras Pérez (Embrapa Amazônia Ocidental)

Lilian Rebellato (Universidade do Kansas)

Sandra Akemi Iwata (Petrobras)

Wenceslau Geraldes Teixeira (Embrapa Amazônia Ocidental)



Amazônia Ocidental

Os elevados estoques de carbono e alta fertilidade dos horizontes antrópicos de alguns solos na Amazônia, conhecidos localmente como Terras Pretas de Índio (TPI) vem despertando o interesse da comunidade científica mundial já há alguns anos. A intensidade de estudos e simpósios tratando especificamente deste tema têm crescido nos últimos anos, tendo sido realizados diversos congressos, simpósios, documentários e ocorrido a publicação de artigos científicos sobre o tema com elevado impacto na comunidade científica. Este livro visa suprir uma crescente demanda para a apresentação dos resultados de pesquisa sobre as Terras Pretas de Índio dispersos em publicações muitas vezes de difícil acesso, agora num livro em língua portuguesa. Foram convidados os pesquisadores de diversas áreas do conhecimento envolvidos nos estudos diretos e nas implicações do conhecimento das características das Terras Pretas de Índio. O volume foi dividido em três seções, sendo a primeira denominada **“O Ambiente Amazônico”**, onde são apresentadas as características históricas, geográficas e culturais do ambiente onde as Terras Pretas de Índio foram formadas. Na segunda seção, denominada de: **“As Terras Pretas de Índio na Amazônia”**, os capítulos selecionados apresentam o conhecimento atual sobre este tema. Na terceira e ultima seção, chamada de **“Terra Preta Nova”**, são discutidos aspectos da importância e potencial uso do conhecimento sobre as Terras Pretas de Índio na “moderna” agricultura tropical e aspectos relacionados ao uso do carbono pirogênico, um dos componentes das TPI que exerce uma marcante influência nas suas características. Nesta seção os capítulos também apresentam resultados de experimentos com a aplicação de carvão vegetal como condicionador do solo.

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

